

**TUGAS AKHIR
(NA 1701)**

**DESAIN KONSEPTUAL SISTEM TERPADU
TONGKANG-KAPAL TUNDA SEBAGAI
ALTERNATIF ANGKUTAN BATUBARA**



PERPUSTAKAAN I T S	
Tgl. Terima	15-8-2000
Tahun Peng.	H
No. Agenda Prp.	21.1894

RSPe
623.81232
Pra
d-1
2000

**OLEH :
KAISER KRIS PRAMBUDI**

NRP. 4194 100 013

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2000



LEMBAR PENGESAHAN


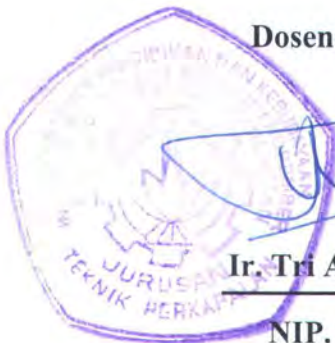
TUGAS AKHIR NA 1701

***“ DESAIN KONSEPTUAL SISTEM TERPADU TONGKANG-KAPAL TUNDA
SEBAGAI ALTERNATIF ANGKUTAN BATUBARA “***

Surabaya, Februari 2000

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing

Ir. Tri Achmadi, Ph. D

NIP. 131 782 033

LEMBAR PENGESAHAN

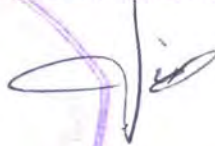
TUGAS AKHIR NA 1701

*“ DESAIN KONSEPTUAL SISTEM TERPADU TONGKANG-KAPAL TUNDA
SEBAGAI ALTERNATIF ANGKUTAN BATUBARA “*

Surabaya, Februari 2000

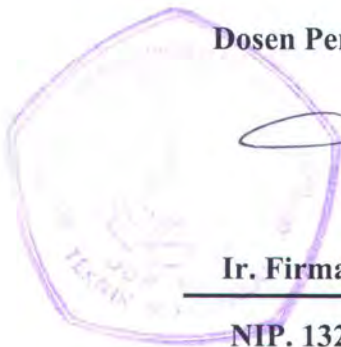
Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Ir. Firmanto Hadi

NIP. 132 133 974



LEMBAR PENGESAHAN REVISI

TUGAS AKHIR NA 1701

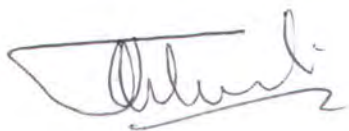
Judul : *Desain Konseptual Sistem Terpadu Tongkang-Kapal Tunda Sebagai Alternatif Angkutan Batubara*

Telah direvisi sesuai dengan keputusan tim penguji Tugas Akhir tanggal 7 Februari 2000.

Surabaya, Februari 2000

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing I



Ir. Tri Achmadi, Ph. D

NIP. 131 782 033



Dosen Pembimbing II



Ir. Firmanto Hadi

NIP. 132 133 974

ABSTRAKSI

*God must have been a shipowner.
He placed the raw materials far from where they were needed
and covered two thirds of the earth with water
[Erling Naess]*

Belum adanya infrastruktur yang menunjang pada daerah pertambangan batubara di Kalimantan, menyebabkan sistem distribusi dan transportasi hanya mengandalkan sungai sebagai sarana penghubung. Adanya batasan-batasan geografis seperti lebar perairan, kecepatan aliran, terbatasnya sarat air ditambah dengan adanya belokan-belokan yang tajam dan dangkal menyebabkan efisiensi dari transportasi selama ini menjadi rendah.

Sistem terpadu tongkang kapal tunda (integrated tug-barge system) adalah alternatif alat transport yang terdiri dari tongkang dan kapal tunda, dimana kapal tunda “masuk” dalam stern notch dari tongkang. Sistem ini memiliki beberapa kelebihan terutama dalam hal efisiensi tugboat yang memungkinkan proses swapp and drop-off serta produktifitas yang lebih besar dibandingkan dengan konvensional barge ataupun kapal.

Dengan menganalisa batasan yang mungkin terjadi dalam pengangkutan batubara, dapat dihasilkan desain konseptual yang meliputi ukuran dan spesifikasi barge dan tugboat dengan menggunakan metode optimisasi. Kemudian akan dilakukan pembuatan model transportasi laut sehingga akan menghasilkan pola operasional pengangkutan.

Manfaat dari studi analisa ini adalah untuk mengetahui nilai ekonomis dari sistem sehingga dapat dipakai sebagai bahan perbandingan dengan sarana transportasi yang ada dan pembuatan rencana jangka panjang untuk rencana investasi kapal atau usaha dalam penyewaan kapal dengan lebih menguntungkan.

NOMENKLATUR

AD	= Biaya Administrasi	(Rp.)
b.j	= Koefisien ke-j yang ditaksir (<i>Time series</i>)	
BHP	= Brake Horse Power	(HP)
Bb	= Lebar tongkang	(m)
β_j	= Parameter ke-j yang dihipotesakan	
β_k	= Parameter tetap (regresi linier ganda)	
C	= Biaya total per DWT	(Rp/ DWT)
Cap max	= Kapasitas angkut maksimum	(Ton)
CD	= Biaya lewat Terusan	(Rp.)
CHC	= Biaya bongkar muat	(Rp.)
CL	= Biaya klaim muatan	(Rp.)
d.	= Besaran berapa kali <i>differencing</i>	
df	= derajat bebas	
DIS	= Biaya bongkar barang	(Rp.)
Displ	= Displasemen	(Ton)
DWT	= Bobot mati	(Ton)
ε	= Variabel random yang menyebar di sekitar nol	
e.t	= Nilai galat	
f(x)	= Fungsi obyektif	
FC	= Biaya bahan bakar dan minyak lumas	(Rp.)
Fobj	= Fungsi tujuan (min. biaya)	(Rp.)
Ft	= <i>Fixed cost Tug</i>	(Rp.)
Fb	= <i>Fixed cost Barge</i>	(Rp.)
g.n	= Batasan ke-n	
GRT	= Gross Registered Tonnage	(m ³)
Hb	= Tinggi tongkang.	(m)
i.	= Tingkat suku bunga	(%)
I	= Biaya asuransi	(Rp.)
K	= Biaya kapital	(Rp.)
L	= Biaya muat barang	(Rp.)
Lb	= Panjang tongkang	(m)
Lt	= Panjang kapal tunda	(m)
LWS	= Kedalaman air terendah	(m)
μ	= Konstanta ARIMA	
m.	= waktu tunda terbesar (<i>Time series</i>)	
M	= Biaya awak kapal	(Rp.)
MCR	= Maximum Continous Rating	(HP)
MN	= Biaya perawatan dan perbaikan	(Rp.)
MSE	= Mean Square Error	
n.	= Jumlah pengamatan	
N	= Jumlah kapal	(Buah)
Nt	= Jumlah kapal tunda	(Buah)
Nb	= Jumlah tongkang	(Buah)
OC	= Biaya operasional	(Rp.)
p.	= Orde parameter <i>Autoregresif</i>	
PD	= Biaya sandar dan labuh	(Rp.)
PDRB	= Produk domestik Regional Bruto	(Juta Rp)
q.	= Orde parameter <i>Moving Average</i>	
Q supply	= Kapasitas yang tersedia	(Ton)
Q demand	= Kapasitas permintaan	(Ton)

r.(k)	= Auto korelasi untuk waktu tunda (<i>Time Series</i>)	
Rtpa	= Jumlah <i>round trip</i> dalam kurun waktu tertentu	(kali)
Se(bj)	= kesalahan standar bj.	
SFC	= Specific Fuel Consumption	(gr/Hpjam)
SLC	= Specific Lubrication Consumption	(gr/Hpjam)
Tb	= Sarat tongkang	(m)
TEU'S	= <i>Twenty Feet Equivalent Units</i>	
T handl	= Waktu bongkar muat	(jam)
TP	= Biaya tunda dan pandu	(Rp.)
TR	= <i>Tax Rate</i>	(%)
T sea	= Waktu layar	(jam)
T wait	= Waktu tunggu	(jam)
Vs	= Kecepatan dinas	(Knot)
VC	= Biaya perjalanan	(Rp.)
Xn	= Variabel ke-n	
Y	= Variabel tak bebas pada regresi	
Z	= Lama hari tidak beroperasi	(hari)

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur alhamdulillah ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir yang berjudul “*Desain Konseptual Sistem Terpadu Tongkang-Kapal Tunda Sebagai Alternatif Angkutan Batubara*” ini dapat terselesaikan. Sesuai dengan judulnya, inti Tugas Akhir ini adalah pembuatan suatu desain konsep tongkang-kapal tunda sebagai alternatif angkutan batubara yang dapat dipakai sebagai perbandingan dengan kondisi yang ada.

Desain konsep ini merupakan tahapan paling awal dari perencanaan suatu kapal. Sehingga Tugas Akhir ini dapat menjadi landasan untuk perencanaan *tug barge system* pada tahapan-tahapan selanjutnya.

Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan di dalam Tugas Akhir ini. Oleh karenanya masukan dan saran sangat diperlukan. Diharapkan di masa mendatang ada kesinambungan penelitian maupun perencanaan mengenai *integrated tug-barge system* dengan data-data yang lebih akurat serta pembahasan yang lebih mendalam. Sehingga dapat diketahui keoptimalan dari sistem ini sebagai alat transport.

Surabaya, Akhir Januari 2000

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Tugas Akhir ini tidak akan pernah terselesaikan tanpa bimbingan, bantuan dan dukungan yang diberikan kepada penulis dari :

1. Ir. Tri Achmadi, Ph.D, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
2. Ir. Firmanto Hadi, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
3. Ir. Slamet Widodo, selaku dosen wali penulis selama menempuh studi.
4. Ir. P. Eko Panunggal, Ph.D, Ir. Setyo Nugroho, Ir. I.G.N. Sumanta Buana, M.Eng, atas dukungan, saran dan bantuannya.
5. Pimpinan, seluruh staf pengajar dan karyawan di lingkungan FT-Kelautan Jurusan Teknik Perkapalan-ITS Surabaya.
6. Rekan-rekan Laboratorium Transportasi Laut-ITS, Budi Susilo, S.T, Apriyansah Toni, Ali Ghuffron terutama Liswanto Utomo,
7. Bapak Priyo H (Kepala Cabang PT. Andhika Lines, Paiton)
8. Capt. Darmansyah Darwis. (PT. Maritim Batubara Pratama, Paiton)
9. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Perkapalan '94 serta komunitas Lantai 4

Serta ungkapan terima kasih dan penghargaan penulis sampaikan kepada pihak-pihak lain yang memberikan dukungan langsung maupun tak langsung.

Surabaya, Akhir Januari 2000

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK

KATA PENGANTAR	i
UCAPAN TERIMA KASIH	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah	I-1
1.2 Maksud dan Tujuan	I-3
1.3 Metodologi Penelitian	I-4
1.4 Pembatasan Masalah	I-5

BAB II OPERASI TRANSPORTASI LAUT KELANIS-PAITON

2.1 Kondisi Geografis	II-1
2.2 Operasi Transportasi Batubara Saat Ini	II-3
2.2.1 <i>Feeder System</i>	II-4
2.2.2 Sistem Kombinasi Antar Pulau	II-6
2.2.3 Proses Kedatangan Kapal & Proses Bongkar di Pelabuhan Paiton	II-6
2.3 Karakteristik Pelabuhan	II-9
2.4 Jalur Pelayaran Kelanis – Paiton	II-11

BAB III KONSEP ANGKUTAN BATUBARA SISTEM TONGKANG KAPAL TUNDA

3.1 Karakteristik Operasi Sistem Tongkang-Kapal Tunda	III-2
3.2 Tinjauan Teknis Tongkang-Kapal Tunda	III-5
3.2.1 Gambaran Umum Tongkang	III-5
3.2.2 Gambaran Umum Kapal Tunda	III-7
3.2.3 Sistem Penyambungan (<i>Coupling System</i>)	III-9
3.2.4 Jumlah Awak Kapal	III-13
3.2.5 Perhitungan Tahanan	III-14
3.3 Teori Pemodelan Transportasi	III-17
3.3.1 Sistem Transportasi Laut	III-17
3.3.2 Metode Optimisasi Non Linier	III-26
3.3.3 Regresi Linier	III-

BAB IV MODEL ANGKUTAN BATUBARA SISTEM TONGKANG KAPAL TUNDA

4.1 Alternatif Pola Operasi Tongkang-Kapal Tunda	IV-1
4.2 Pemodelan Angkutan Sistem Tongkang Kapal Tunda	IV-3
4.2.1 Penentuan Ukuran Utama dan Perkiraan Tenaga Mesin	IV-3
4.2.2 Elemen Penyusun Biaya Transportasi	IV-9
4.3 Model Optimisasi Sistem Tongkang-Kapal Tunda	IV-14

BAB V ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pergerakan Tongkang-Kapal Tunda Alternatif 4	V-1
5.1.1 Analisis Hasil Optimisasi Initial Value	V-1
5.1.2 Analisis Sensitifitas	V-4
5.1.3 Pemilihan Nilai Optimum	V-6
5.2 Pergerakan Tongkang-Kapal Tunda Alternatif 5	V-6
5.2.1 Analisis Hasil Optimisasi Initial Value	V-6
5.2.2 Analisis Sensitifitas	V-9
5.2.3 Pemilihan Nilai Optimum	V-11

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	VI-1
5.2 Saran	VI-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Lampiran 1	Hasil Optimisasi Initial Value
Lampiran 2	Model Regresi Ukuran Utama dan Perkiraan Tenaga Mesin
Lampiran 3	Hasil Pengujian Program Solver
Lampiran 4	Daftar Tarif Jasa Pelabuhan
Lampiran 5	Data Sistem Tongkang-Kapal Tunda Pembanding

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Cadangan Batubara PT Adaro Indonesia (juta ton)	II-1
Tabel 2.2 Dimensi Stockpile PT PowerGen Jawa Timur	II-11
Tabel 5.1 Hasil Optimisasi Terhadap Initial Value untuk Alternatif 4	V-2
Tabel 5.2 Variabel L dirubah; B, H, T, Vs dan Ltug Konstan	V-5
Tabel 5.3 Variabel B dirubah; L, H, T, Vs dan L tug Konstan	V-5
Tabel 5.4 Variabel H dirubah; L, B, T, Vs dan L tug Konstan	V-5
Tabel 5.5 Variabel T dirubah; L, B, H, Vs dan L tug Konstan	V-6
Tabel 5.6 Variabel Vs dirubah; L, B, H, T, dan L tug Konstan	V-6
Tabel 5.7 Variabel L tug dirubah; L, B, H, T, dan Vs Konstan	V-5
Tabel 5.8 Hasil Optimisasi Terhadap Initial Value untuk Alternatif 5	V-7
Tabel 5.9 Variabel L dirubah; B, H, T, Vs dan Ltug Konstan	V-10
Tabel 5.10 Variabel B dirubah; L, H, T, Vs dan L tug Konstan	V-10
Tabel 5.11 Variabel H dirubah; L, B, T, Vs dan L tug Konstan	V-10
Tabel 5.12 Variabel T dirubah; L, B, H, Vs dan L tug Konstan	V-11
Tabel 5.13 Variabel Vs dirubah; L, B, H, T, dan L tug Konstan	V-11
Tabel 5.14 Variabel L tug dirubah; L, B, H, T, dan Vs Konstan	V-11

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lokasi Pertambangan PT Adaro Indonesia dan Proses Pengangkutan Batubara	II-5
Gambar 2.2 Operasi Transportasi Batubara	II-7
Gambar 2.3 Grafik Waktu Operasi Pembongkaran Batubara	II-9
Gambar 3.1 Sistem Terpadu Tongkang Kapal Tunda	III-3
Gambar 3.2 Skeg Tipe Directional Stability dengan Notch Stern Berukuran Panjang	III-6
Gambar 3.3 Skeg Tipe Flow Line dengan Notch Stern Berukuran Pendek ...	III-7
Gambar 3.4 Pusher Tug	III-8
Gambar 3.5 Penyambungan Rigid Coupling Jenis Articouple System	III-11
Gambar 3.6 Penyambungan Flexible Coupling Jenis Sea-Link	III-12
Gambar 3.6 Grafik $\frac{R_R}{\Delta} - \frac{V_K}{\sqrt{L}}$ Untuk Barge dengan Panjang Notch 90' s/d 115'	III-15
Gambar 3.7 Grafik $\frac{R_R}{\Delta} - \frac{V_K}{\sqrt{L}}$ Untuk Barge dengan Panjang Notch 90' s/d 115'	III-16
Gambar 4.1 Alternatif Pola Operasi Tongkang Kapal Tunda	IV-2

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Belum adanya infrastruktur yang menunjang pada daerah-daerah pertambangan batubara di Kalimantan menyebabkan sistem distribusi dan transportasi batubara sebagian besar mengandalkan sungai sebagai sarana penghubung. Pada umumnya lokasi eksplorasi batubara berada di daerah pedalaman dimana transportasi batubara hampir 100 % menggunakan tongkang/*barge*, yang melewati perairan sungai. Selanjutnya batubara dikirim berdasarkan tujuannya yaitu melalui terminal penimbunan (*stockpile*), menuju *bulk carrier*/kapal curah sebagai *mother ship* ataupun langsung menuju tujuan dengan menggunakan tongkang.

PT. Adaro Indonesia (PT-AI) adalah salah satu produsen batubara di Indonesia yang merupakan perwakilan Adaro Envirocoal Amerika. Berlokasi di Kabupaten Tabalong, propinsi Kalimantan Selatan, produksi PT-AI rata-rata sebesar 10 juta ton/tahun dan memiliki kandungan *sulfur* dan *ash* terendah di dunia (0,1 % *sulfur* dan 1,2 % *ash*), sehingga sangat sesuai digunakan untuk pembangkit tenaga listrik. Ketebalan lapisan batubara pada daerah eksplorasi berkisar antara 30-70 m dengan kualitas yang sama di setiap lapisan dan cadangan batubara sebesar dua milyar ton. Hal ini menyebabkan kondisi yang sangat optimum untuk

menghasilkan tingkat produktivitas yang tinggi, biaya eksplorasi yang rendah serta kualitas batubara yang “konsisten”.

PT-AI mengadakan kontrak dengan PT. PowerGen Jawa Timur (PT-PJT) untuk menyuplai batubara untuk keperluan pembangkit tenaga listrik sebesar 100.000 ton/bulan secara konstan dalam waktu 30 tahun. Dengan adanya kontrak tersebut, perlu diketahui operasi pelayanan transportasi dalam pengiriman komoditi batubara dengan tujuan membangun kebijakan perusahaan (dalam hal ini perusahaan pelayaran yang bertanggung jawab penuh terhadap kelancaran pengiriman produk) untuk memberikan pelayanan yang terbaik.

Masalah yang dihadapi di sini adalah adanya batasan-batasan geografis dari kondisi Sungai Barito, diantaranya sarat air yang terbatas. Kondisi ini disebabkan karena muara sungai mengalami pendangkalan, perbedaan ketinggian air pada musim kemarau ($\pm 1-1,5$ m) dan adanya belokan-belokan yang tajam dengan perairan yang sempit dan dangkal. Hal ini dapat menyulitkan kapal, tongkang ataupun sarana transportasi air yang lain untuk melakukan manuver. Adanya permasalahan tersebut menyebabkan efisiensi dari transportasi batubara menjadi rendah. Dimana seharusnya kelancaran dari transportasi merupakan hal yang penting karena produksi batubara di daerah ini diestimasikan dapat mencapai jumlah yang sangat besar, sekitar 27 juta ton/tahun pada tahun 2003 [BPS, 1997]. Sekitar 15 tongkang berkapasitas 5000 ton atau 10 tongkang dengan kapasitas 8000 ton per hari akan melewati sungai Barito [Priyanto, 1998].

Perlu juga diketahui, bahwa jumlah maksimal tongkang batubara yang diperkenankan melewati alur keluar ke laut lepas dalam kurun waktu satu hari untuk saat ini adalah tujuh buah [Laboratorium Transportasi Laut FTK-ITS, 1997]

dengan komposisi 1 : 3. Hal ini berarti bila terdapat satu tongkang berangkat dari pelabuhan Banjarmasin, maka bersama tongkang tersebut akan ada tiga tongkang lain yang berasal dari pelabuhan di utara pelabuhan Banjarmasin di Sungai Barito (PT. Adaro Indonesia).

1.2 MAKSUD DAN TUJUAN

Berdasarkan pemikiran dan permasalahan tersebut, penulis memberanikan diri untuk melakukan studi analisa sistem transportasi dalam usaha pengangkutan batubara dari PT-AI (Kelanis, Kalimantan Selatan) ke PT. PowerGen Jawa Timur di Paiton. Studi ini dimulai dengan membuat suatu desain konseptual sistem terpadu tongkang kapal tunda (*integrated tug barge system*) sebagai alternatif sistem transportasi. Dengan mempertimbangkan sisi kebutuhan jasa transportasi (*demand side*) dan sisi penawaran (*supply side*) serta *total cost* yang minimum dapat direncanakan suatu armada tongkang pengangkut batubara dengan ukuran yang optimal.

Setelah mengetahui operasi pelayanan transportasi yang mungkin dengan menggunakan sistem terpadu tongkang kapal tunda, maka tujuan yang ingin dicapai pada Tugas Akhir ini adalah

- Membuat suatu desain konseptual sistem terpadu tongkang-kapal tunda (*integrated tug barge system*) angkutan batubara untuk melayari perairan Kelanis (Kalimantan Selatan) – Paiton (Jawa Timur)]
- Mendapatkan hasil optimum dari beberapa ukuran dan alternatif pergerakan tongkang-kapal tunda.

1.3 METODOLOGI PENELITIAN

Pengerjaan Tugas Akhir ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang saling mendukung untuk mencapai hasil akhir yang diharapkan. Tahapan itu meliputi :

1. Penyusunan konsep yaitu dengan melakukan perumusan masalah, pemberian batasan terhadap masalah/asumsi studi dengan didukung studi literatur.
2. Pencarian data dan pengamatan lapangan melalui sigi lapangan.
3. Pengolahan data dan pembuatan model transportasi.
4. Penyusunan model optimisasi dengan fungsi obyektif berupa *minimum transport cost* dan desain variabel berupa ukuran utama tongkang dan kecepatan dinas.
5. Pembuatan desain konseptual *tugboat* dan *barge* yang akan digunakan dengan pemilihan langsung dari data pembanding.
6. Pembuatan keputusan kelayakan layanan transport dengan melihat pemenuhan *supply* hasil model transportasi dan *total transport cost* yang minimum.

Adapun metode penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Mencari berbagai informasi mengenai permasalahan dan konsep yang diajukan penulis, dari berbagai sumber tertulis. Dalam studi ini literatur didapatkan dari *text book*, *paper*, majalah, surat kabar dan sumber-sumber lain termasuk Internet.

2. Sigi lapangan

Melakukan survey lapangan untuk mendapatkan data dan pemikiran dari pengamatan langsung, melalui wawancara dan pencatatan dari referensi-referensi yang dikumpulkan.

3. Analisis data

Data-data yang akan diolah dapat digolongkan sebagai berikut :

- Data *barge* dan *tugboat* pembanding.
- Data operasi transportasi batubara.
- Data komponen biaya (*cost*).

4. Pemecahan masalah

Hasil pengumpulan data dan analisisnya sangat menentukan pemecahan masalah sehingga tulisan ini dapat bermanfaat.

5. Dokumentasi

Dokumentasi ini di sini adalah pengumpulan bukti untuk memperkuat data yang diperoleh yang dapat berupa gambar, peta serta hasil fotografi.

1.4 PEMBATAHAN MASALAH

Batasan masalah dan asumsi-asumsi ditetapkan dengan pertimbangan agar masalah yang akan dibahas tidak meluas, sehingga dapat mencapai hasil penulisan dengan baik dan tidak menyimpang dari pokok permasalahan. Beberapa pembatasan dan asumsi yang ditetapkan adalah sebagai berikut :

1. Tugas akhir ini hanya akan membahas perancangan sistem terpadu tongkang kapal tunda (*integrated tug-barge system*) sampai pada tahapan desain konseptual/*conceptual design* yaitu:
 - Menerjemahkan *owner's requirement* ke dalam data-data teknik yang menghasilkan ukuran utama, panjang (L), lebar (B), tinggi (H), sarat (T) serta kapasitas (*payload*) dan kecepatan dinas (Vs).
 - Studi kelayakan teknik (*technical feasibility study*) meliputi kedalaman perairan, lebar perairan, jarak pelayaran.
 - Memperkirakan bentuk badan kapal (*fitness* dan *fullness*).
2. Aspek teknis selanjutnya tidak dibahas karena harus mempertimbangkan banyak hal yang saling berkaitan misalnya aspek getaran, olah gerak (*sea keeping*), kekuatan kapal yang memerlukan pembahasan tersendiri dan mendalam.
3. Komoditas utama yang harus diangkut adalah batubara dengan rute pelayaran yaitu Kelanis (Kalimantan Selatan) – Paiton (Jawa Timur).
4. Diasumsikan bahwa armada lama pengangkut batubara untuk rute Kelanis-Paiton digantikan oleh armada baru tongkang-kapal tunda yang dibahas oleh penulis.
5. Usaha pemilihan tongkang-kapal tunda didasari pada pemenuhan *supply* dan *total cost* yang paling minimum hasil proses optimisasi.

6. Perhitungan ekonomis hanya terbatas pada perhitungan biaya operasional tongkang-kapal tunda.
7. Segala aspek politis diabaikan dan diasumsikan bahwa kebijakan pemerintah tidak berubah dari yang telah ditetapkan sebelum tulisan ini selesai.

BAB II

OPERASI TRANSPORTASI LAUT KELANIS-PAITON

2.1 KONDISI GEOGRAFIS

a. PT ADARO INDONESIA

PT Adaro Indonesia (PT-AI) memulai eksplorasi batubara pada tahun 1983. Eksplorasi ini dikonsentrasikan pada *coal deposit* di daerah Tutupan dan Wara dimana cadangan batubara yang besar ditemukan melalui proses *geological mapping, trenching* dan *drilling*. Aktivitas geologis ini terus dilakukan dan pada tahun 1988 berhasil mendeteksi kandungan batubara di Warukin dan Paringin, sehingga total kandungan batubara di keempat daerah tersebut (Tutupan, Wara, Warukin dan Paringin) sebesar ± 2 milliard ton.

Tabel 2.1 Cadangan batubara PT Adaro Indonesia (juta ton)

Area	Measured Reserves	Indicated Resources	Inferred Resources	Total
Paringin	50	12	15	88
Tutupan	570	20	-	590
Wara	160	260	310	730
Parukin	130	210	270	610
Total	910	502	595	2018

Sumber : Indonesian Coal Mining Development & Company Profile 1997

Batubara produksi PT-AI diangkut oleh truk dari lokasi eksplorasi menuju *barge transloading facility* yang terletak di Kelanis, tepi sungai Barito. Truk batubara dibongkar lalu di muat ke dalam *barge* yang akan mengangkut batubara ini melalui sungai Barito menuju muara atau ke terminal penimbunan milik PT Indonesia Bulk Terminal yang berada di Pulau Laut .

Sungai Barito memegang peranan penting dalam bidang ekonomi dan perdagangan di Kalimantan Selatan, yang tidak hanya berfungsi sebagai sarana keluar masuk kapal ke pelabuhan, tetapi juga sebagai penghubung antar daerah. Sungai ini memiliki panjang 900 km, lebar maximum 800 m, kedalaman maximum 8 m dan kedalaman minimum 2,8 m serta memiliki banyak belokan-belokan tajam dengan radius yang kecil [BPS, 1997]. Pada musim hujan kecepatan aliran di sungai ini dapat mencapai 2 mil per jam. Adanya keterbatasan yang dimiliki Sungai Barito menyebabkan kesulitan manuver kapal atau *tugboat* untuk menarik *barge*. Hal ini disebabkan adanya perairan yang dangkal dan sempit terutama pada musim kemarau, dimana perbedaan tinggi air dapat mencapai 1-1,5 m.

Proses sedimentasi pada daerah muara dapat mencapai 2 cm/hari dan sekitar 20 juta deposit/tahun [Muis, 1998]. Adanya pendangkalan menyebabkan kapal-kapal besar harus menunggu air pasang untuk dapat memasuki pelabuhan, hal ini dapat mempengaruhi *port time* dari kapal. Berdasarkan Indonesia Ship Owner Association (INSA), *idle time* untuk waktu tunggu keluar dan masuk sungai ini mencapai 5-8 jam. Proses pengerukan sedimen harus dilakukan untuk menjaga kedalaman perairan sehingga dapat dilayari kapal dengan maximum draft 5 m. Proses ini juga untuk menjaga lebar perairan tetap 100 m untuk

memungkinkan kapal-kapal yang berlayar di perairan ini tidak terganggu saat berpapasan.

b. PT POWERGEN JAWA TIMUR.

PT POWERGEN JAWA TIMUR (PT-PJT) adalah perusahaan yang bergerak di bidang pengadaan tenaga listrik yang merupakan cabang dari PT POWERGEN INTERNASIONAL yang berpusat di Inggris. Terletak di Paiton kabupaten Probolinggo (141 km sebelah timur Surabaya), di kompleks pembangkit tenaga listrik Paiton ini, PT-PJT berada pada unit 5 dan 6. PT-PJT mengadakan kontrak untuk menyuplai kebutuhan listrik bagi PLN selama 30 tahun dan atas dasar itu saat ini PT-PJT juga membuat kontrak tahap I selama 20 tahun dengan PT-AI untuk memasok batubara untuk kepentingan pembangkit listrik tenaga uap. PT-PJT mampu menghasilkan listrik sebesar 615 MW yang akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik di Pulau Jawa dan Bali.

2.2 OPERASI TRANSPORTASI BATUBARA SAAT INI

Operasi transportasi batubara yang berasal dari daerah Kalimantan untuk saat ini terdiri dari dua sistem [Muis, 1998], yaitu :

1. *Feeder system* :

- a. Lokasi eksplorasi – *barge loading facility* / pelabuhan lokal (transportasi darat dengan truk)
- b. Pelabuhan lokal – terminal penimbunan (transportasi sungai dengan *barge*)
- c. Pelabuhan lokal – *bulk carrier* / *mother ship* (transportasi sungai dengan *barge*)

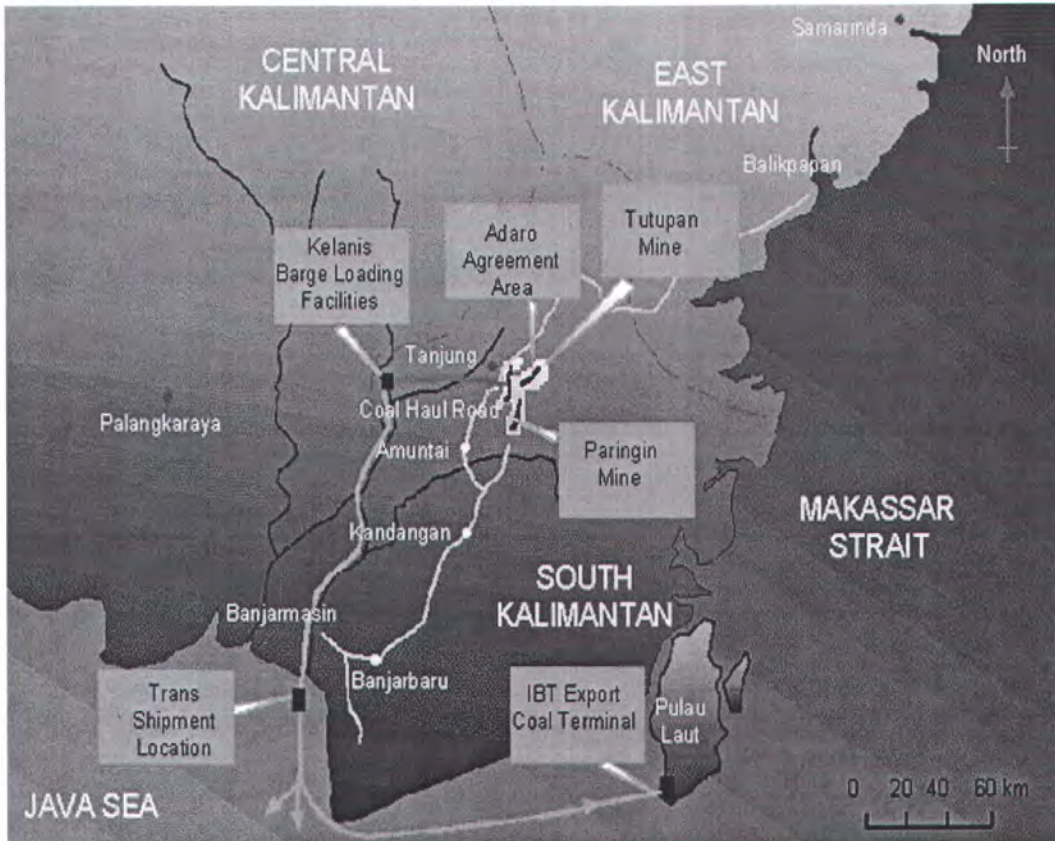
2. Sistem kombinasi antar pulau (*combination with interisland system*) :

- a. Lokasi eksplorasi – *barge loading facility* / pelabuhan lokal (transportasi darat dengan truk)
- b. Pelabuhan lokal – terminal penimbunan (transportasi sungai dengan *barge*)
- c. Pelabuhan lokal – konsumen dalam negeri (transportasi sungai dan laut dengan *barge*)
- d. Terminal penimbunan – konsumen dalam negeri (transportasi laut dengan *bulk carrier*)

2.2.1 Feeder system

Batubara produksi PT-AI diangkut oleh *dump truck* dari lokasi eksplorasi (Wara, Warukin, Tutupan, Paringin), dengan jarak sekitar 72 km, menuju *barge transloading facility* yang terletak di Kelanis, dekat Sungai Barito. Dari *dump truck*, batubara dibongkar dan diletakkan ke dalam *dump station* untuk dihaluskan s/d ukuran dibawah 50 mm dengan menggunakan alat *stamler feeders breaker* lalu diangkut oleh *overhead conveyor* menuju *stockpile*. Tumpukan batubara di *stockpile* ini “didorong” oleh bulldozzer ke dalam *underground reclaim conveyor*. Dari *conveyor* batubara dimuat ke dalam *barge* yang telah bersandar (rata-rata mempunyai bobot mati sebesar 7.000-10.000 ton). Dari fasilitas pemuatan di Kelanis ini, batubara diangkut oleh *barge* menuju muara sungai Barito untuk melakukan proses pemindahan (*transshipment*) ke kapal *bulk carrier* dengan kapasitas sampai dengan 160.000 DWT, yang telah bersandar di daerah Taboneo anchorage (15 mil laut dari muara sungai Barito, Banjarmasin), dimana tidak ada

batasan sarat di daerah ini. Waktu yang diperlukan *barge* dari Kelanis – Taboneo *anchorage* sekitar 23 jam dengan kecepatan $\pm 4-5$ knot.



Sumber: www.Energyweb.com/adaro.html.

Gambar 2.1 Lokasi Pertambangan PT Adaro Indonesia dan Proses Pengangkutan Batubara

Proses pemindahan dilakukan, dengan menggunakan fasilitas bongkar muat dari kapal dan 3 buah fasilitas bongkar terapung (*floating transshipment cranes*) yang dikontrak oleh PT-AI dengan *loading rates* mencapai 30.000 ton per hari.

Proses kedua, batubara dari Kelanis diangkut oleh *barge* menuju terminal penimbunan batubara yang berada di sebelah selatan Pulau Laut. Batubara dibongkar dari *barge* untuk kemudian ditumpuk/ditimbun pada *stockpile*. Kapal-kapal yang bersandar di Pulau Laut dapat mencapai kapasitas 200.000 DWT. Dari

sini batubara ditransportasikan menuju lokasi-lokasi tujuan, baik lokal (Indonesia) maupun untuk keperluan ekspor dengan menggunakan *bulk carrier*.

2.2.2 Sistem kombinasi antar pulau (*combination with interisland system*)

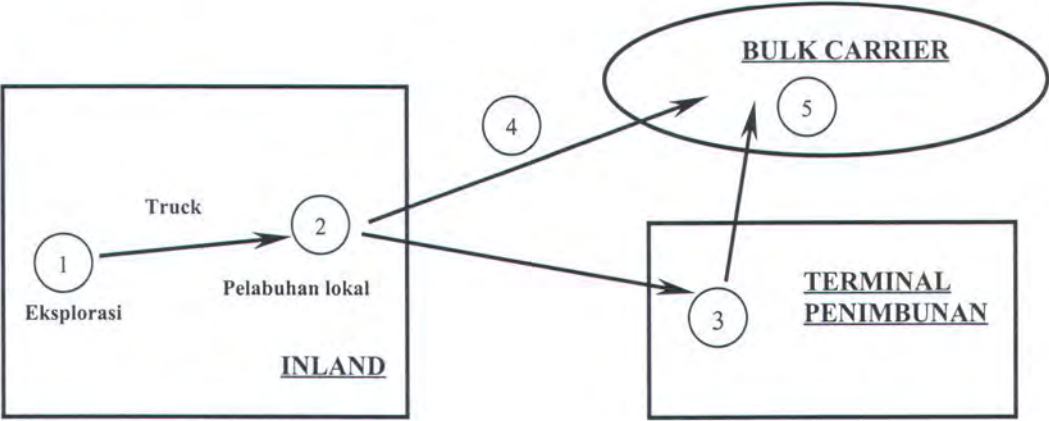
Pada sistem kombinasi antar pulau (*combination with interisland system*) batubara mulai didistribusikan kepada daerah/pulau lokal yang membutuhkan (konsumsi dalam negeri). Untuk transportasi batubara yang melalui Pulau Laut, prosesnya sama dengan proses pertama dan kedua pada *feeder system*, dimana batubara dari Pulau Laut mulai didistribusikan kepada daerah/pulau lokal di Indonesia dengan menggunakan kapal curah/*bulk carrier*.

Sedangkan untuk transportasi batubara yang tidak melalui Pulau Laut, batubara dari fasilitas pemuatan Kelanis diangkut oleh *barge* langsung menuju lokasi-lokasi tujuan, juga untuk pasar-pasar domestik/lokal dimana tujuan pada umumnya adalah Pulau Jawa. Di sini *barge* yang beroperasi ditangani oleh *barge operator* yang berada di Pulau Jawa maupun Kalimantan.

2.2.3 Proses Kedatangan Kapal & Proses Bongkar di Pelabuhan Paiton

Kedatangan kapal di pelabuhan Paiton dimulai dengan melakukan anchorage pada daerah perairan yang telah ditentukan bila pada *main-jetty* masih terdapat kapal yang melakukan proses bongkar. Pihak PowerGen biasanya akan memerintahkan kapal untuk “pindah” bila bersandar tidak pada tempat yang telah ditentukan. Kapal kemudian melakukan proses *Notice of Remain on Board Tendered* kepada pihak PowerGen yang akan disetujui untuk selanjutnya

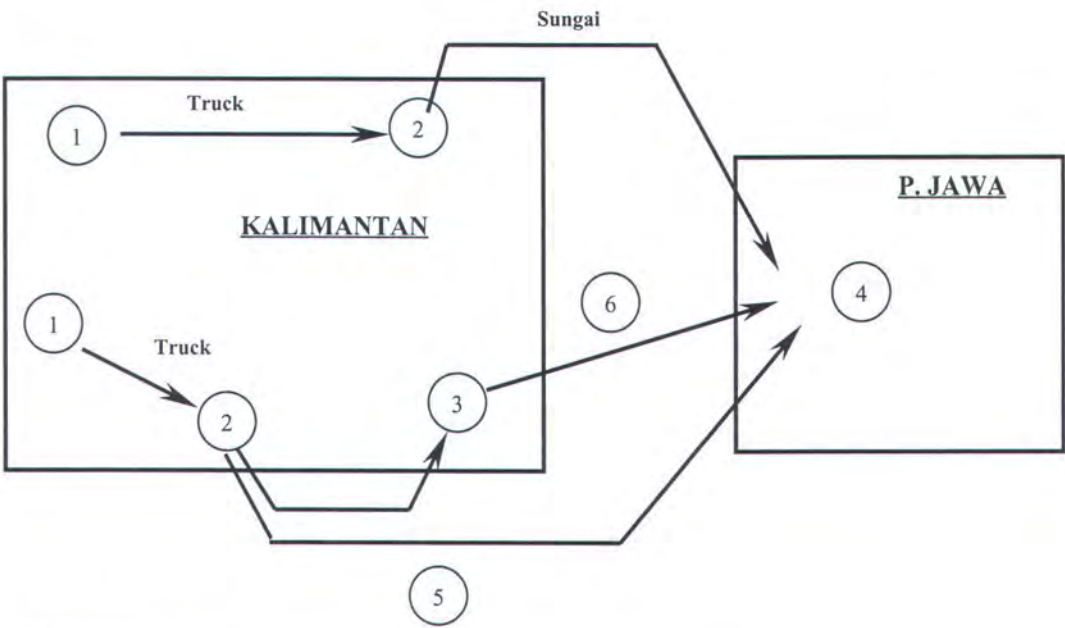
Feeder system



Keterangan :

- | | |
|------------------------|---------------------|
| 1. Lokasi eksplorasi | 4. Barge / tongkang |
| 2. Pelabuhan lokal | 5. Bulk Carrier |
| 3. Terminal penimbunan | |

Combination with interisland system



Keterangan :

- | | |
|------------------------|---------------------|
| 1. Lokasi eksplorasi | 4. Power plant |
| 2. Pelabuhan lokal | 5. Barge / tongkang |
| 3. Terminal penimbunan | 6. Bulk carrier |

Gambar 2.2 Konsep Operasi Transportasi Batubara

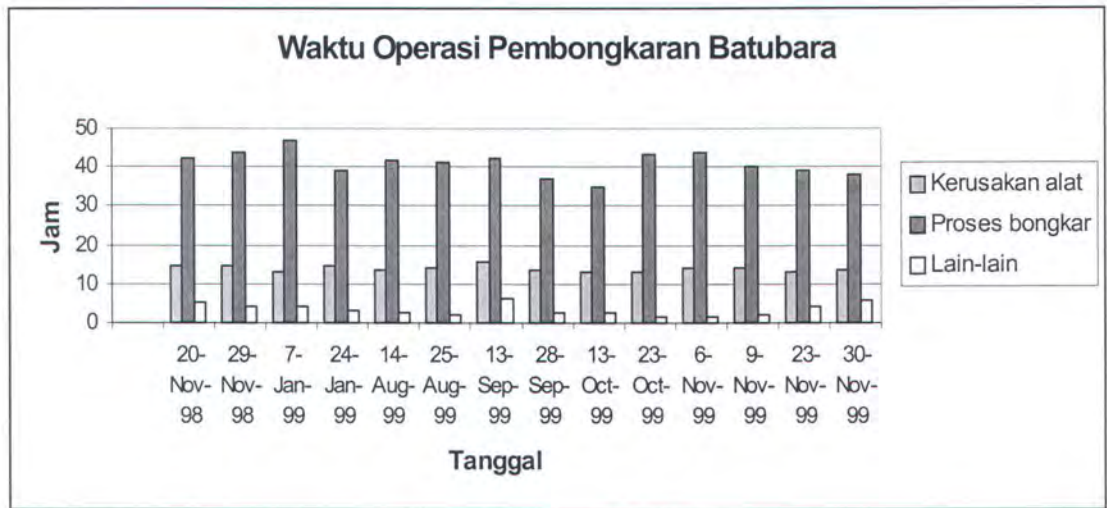
dilakukan proses penambatan dengan bantuan tugboat yang telah siap (didatangkan dari pelabuhan Surabaya atau Besuki).

Setelah itu dilakukan proses *initial draft survey* yang diikuti dengan pengambilan contoh / *sampling* batubara untuk pemeriksaan kadar *moisture*. Proses bongkar batubara dapat dimulai bila *draft survey* telah selesai dilaksanakan.

Proses bongkar / *discharging* batubara dilakukan dengan menggunakan dua buah *moveable on-shore crane* (@ kapasitas 30 ton dan *loading rate* 600 ton/jam*) dengan *grab* yang dihubungkan dengan *belt conveyor* untuk disalurkan ke *stockpile*. Pada akhir proses bongkar dilakukan pembersihan palkah dengan menggunakan 'Bob Cat' (loader kecil berkapasitas 1 ton) atau dengan menggunakan skop dari sisa-sisa muatan untuk dimasukkan ke dalam *grab*, agar seluruh muatan yang direncanakan terbongkar semua. Proses bongkar ini dapat dihentikan bila terjadi hujan yang cukup besar dan air hujan menggenangi ruang muat kapal, sehingga dapat mengganggu stabilitas kapal. Proses bongkar dapat juga dihentikan atas permintaan pihak PowerGen bila sudah terdapat kapal yang *anchorage* menunggu proses bongkar dan di pelabuhan asal (Kalimantan) sudah siap untuk proses muat batubara dari tongkang ke *bulk carrier* (pada *feeder system*, dimana dilakukan proses *transshipment* di Taboneo *anchorage*). Akhir dari proses bongkar ini dilakukan *final draft survey*, untuk menyamakan jumlah muatan sebelum dibongkar (*total quantity cargo before disharging*), - jumlah muatan ini telah disurvei saat proses muat di Kalimantan - , dengan jumlah muatan setelah

* Berdasarkan uji *mean* dari data gambar 2.3 dengan bantuan program SPSS 7.5

dibongkar (*total quantity cargo discharged*) dan biasanya tidak terdapat selisih yang besar pada laporan *draft survey*.



Sumber : Data intern perusahaan, 1998 - 1999

Gambar 2.3 Grafik Waktu Operasi Pembongkaran Batubara

2.3 KARAKTERISTIK PELABUHAN

a. PT Adaro Indonesia

Barge transloading facility milik PT-AI terletak di Kelanis di tepi sungai Barito (115 km dari kota Banjarmasin). Fasilitas pemuatan untuk *barge* ini memiliki kapasitas pemuatan sekitar 14 MTPA pada tahun 1997 dan telah berkembang menjadi 22 MTPA pada tahun 1999. Dermaga ini difungsikan secara khusus hanya untuk keperluan PT-AI, sehingga tidak melayani fasilitas *bunker* untuk tongkang dan tugboat yang sandar, kecuali untuk keperluan darurat. Lebar perairan di daerah ini mencapai 400 m dengan kedalaman sekitar 8 m.

Adanya fasilitas *dump station* (untuk menampung batubara sementara yang dibongkar dari *dump truck*) yang dilengkapi dengan alat *stamler feeders*

breaker untuk menghaluskan batubara. Kapasitas stockpile di Kelanis saat ini sekitar 400.000 ton. *Underground reclaim conveyor* berfungsi untuk mengangkut batubara dari *stockpile* menuju dua buah *barge loading conveyor* yang dioperasikan dengan kapasitas pemuatan mencapai 50.000 ton per hari dengan *loading rate* sebesar 2.000 ton/jam.

b. PT. Powergen Jawa Timur

Di areal pelabuhan ini terdapat 3 buah dermaga yang dioperasikan oleh beberapa perusahaan dalam kompleks pembangkit listrik Paiton, yaitu PLN Paiton, PT Jawa Power (merupakan konsorsium dari PT-PJT, Siemens dan ABB) serta Paiton Energy Co (PEC). Masing-masing dermaga terdiri dari beberapa fasilitas bongkar muat yang dilengkapi dengan *belt conveyor*. Peralatan utama pada *main jetty* milik PT-PJT berupa dua buah *moveable on-shore crane* dengan *grab* yang mempunyai kapasitas bongkar masing-masing 1300 ton/jam. Peralatan ini memiliki *hopper* untuk menerima curahan dari *grab* dan *chute* untuk menyalurkan batubara ke *reversing conveyor* untuk kemudian ditimbun di *stockpile* di darat. Kapasitas stockpile PT PowerGen sebesar 525.000 ton dengan luas 51.000 m² yang terbagi menjadi beberapa area (lih. Tabel 2.2).

Tabel 2.2 Dimensi Stockpile PT PowerGen Jawa Timur

	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)	Kapasitas (ton)
Livestock utara	331	41,5	13.736,50	112.000
Livestock selatan	315	73,7	23.215,50	263.000
Deadstock utara	110	43	4.730,00	42.000
Deadstock selatan	156,2	61	9.528,20	105.000
TOTAL			51.210,2	522.000

Sumber : Data Intern Perusahaan ,1999

2.4 JALUR PELAYARAN KELANIS-PAITON

Jalur pelayaran Kelanis - Paiton dibagi menjadi dua bagian :

- Kelanis – Banjarmasin = 103 mil laut
- Banjarmasin – Paiton = 265 mil laut

Jadi jarak pelayaran total antara Kelanis – Paiton = 368 mil laut atau dibulatkan menjadi 370 mil laut⁺.

Pada jalur Kelanis-Banjarmasin memiliki alur kritis, terutama pada muara sungai Barito. Alur ini memiliki panjang total 21,1 km. Terdiri dari dua bagian yaitu di depan muara sepanjang 6,5 km dan sisanya merupakan alur buatan menembus lapisan sedimen kritis sepanjang 14,3 km. Alur buatan ini memiliki lebar 60 meter dan kedalaman 3,20 m LWS dengan pasang terendah 1,60 m dan tertinggi 2,90 m [PT. Pelindo III, 1998]. Alur hanya dapat dilewati waktu pasang, yang terjadi hanya empat jam dalam satu hari. Sehingga pola keberangkatan

⁺ Barge Operator, PT Ersihan Satya Pratama, Surabaya

angkutan laut yang memiliki sarat melebihi empat meter dari Banjarmasin selalu diperhitungkan kira-kira enam jam sebelum waktu pasang. Total waktu yang dibutuhkan untuk mencapai laut lepas berkisar antara 4 – 8 jam [Lab. Transportasi Laut FTK-ITS, 1997].

Sedangkan untuk wilayah perairan Paiton tidak terdapat batasan geografis. Kedalaman di wilayah perairan ini mencapai sekitar 18 m.

BAB III

KONSEP ANGKUTAN BATUBARA

SISTEM TONGKANG-KAPAL TUNDA

Terdapat beberapa aspek yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan alat transportasi khususnya untuk melayari perairan sungai di Kalimantan yang memiliki keterbatasan geografis [Muis, 1998], yaitu :

1. Sarat/*draft* yang kecil

Kondisi sungai pada area yang akan dilewati cukup dangkal dan berlumpur serta adanya proses sedimentasi yang tinggi pada daerah muara ditambah adanya perbedaan ketinggian air di saat pasang dan surut (± 1 s/d 1,5 m) sehingga membutuhkan kapal dengan sarat yang kecil.

2. Manuver yang lincah

Kondisi sungai yang memiliki banyak belokan tajam dan dangkal tersebut menyebabkan kesulitan untuk melakukan manuver, terutama untuk tongkang-tongkang yang ditarik (*towed barge*)

3. Tenaga/*power* yang cukup besar

Untuk melakukan manuver yang lincah diperlukan adanya power yang besar. Disamping itu power yang besar diperlukan untuk menggerakkan *barge* melawan arus air pada kecepatan tertentu. Aliran arus sungai yang disebabkan oleh pasang surut mempunyai pengaruh yang besar pada kecepatan kapal.

4. *Self loading and unloading*

Aspek operasional *barge* untuk pendistribusian barang yaitu proses bongkar muat berada di daerah pedalaman, dimana pada umumnya daerah tersebut tidak memiliki fasilitas bongkar muat atau bahkan tenaga kerja pelabuhan yang memadai. Oleh karenanya tongkang sebaiknya memiliki alat bongkar muat sendiri.

3.1 KARAKTERISTIK OPERASI SISTEM TONGKANG-KAPAL TUNDA

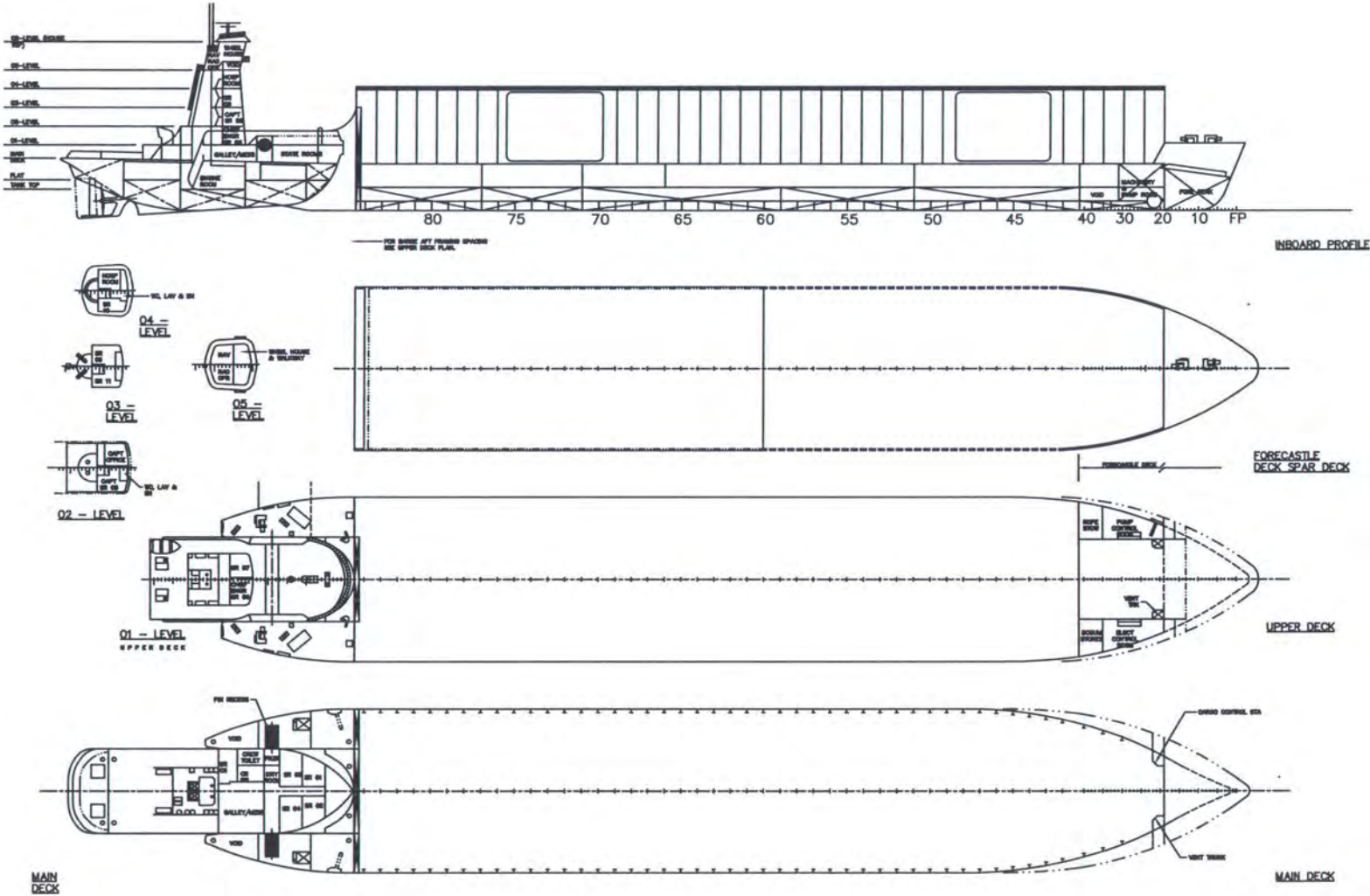
Sistem terpadu tongkang kapal tunda (*integrated tug-barge system*) adalah* sistem kombinasi antara tongkang dan kapal tunda dimana kapal tunda (*tugboat*) dipasangkan dengan tongkang (*barge*) dengan suatu sistem penyambungan yang dirancang secara khusus sehingga kapal tunda terkunci pada *notch* dari *barge* dengan suatu sistem mekanis tidak menggunakan *wire ropes*, *chains* (lih. **Gambar 3.1**).

Secara garis besar *integrated tug barge system* dapat dibedakan menjadi beberapa jenis:

1. *Pull toward*, yaitu sistem *tug* dan *barge* yang didesain hanya untuk menarik *barge* dengan menggunakan tali khusus.
2. *1st generation push towed*, yaitu *tug barge system* dimana *barge* memiliki *stern notch*/takik berukuran kecil di bagian belakang dan *tugboat* digunakan untuk mendorong *barge* di sungai, selat dan pada kondisi cuaca yang baik. Sedangkan pada saat berlayar di laut, *barge* biasanya ditarik.

* ABS (American Bureau of Shipping) Rules for Building & Classing Steel Barges 1991, section 20

COVERED DECK LOADING BARGE



Sumber : Ship Design and Construction, J. E Taggart

Gambar 3.1 Sistem Terpadu Tongkang Kapal Tunda

3. *2nd generation push towed*, yaitu *tug-barge system* yang didesain untuk *barge* dengan *notch* yang lebih besar serta adanya *connection* yang memungkinkan tugboat mendorong *barge* walaupun pada *open sea*.
4. *3rd generation push towed*, yaitu *tug barge system* yang didesain untuk mendorong *barge* pada berbagai macam kondisi laut.

Karakteristik sistem terpadu tongkang-kapal tunda adalah sebagai berikut [Frankel, 1994] :

- a. Memiliki fleksibilitas operasi bila dibandingkan dengan kapal biasa, yang disebabkan karena sistem ini terbagi menjadi dua bagian yaitu unit pendorong dan unit muatan. Dengan terpisahnya kedua bagian ini memungkinkan untuk melakukan pola operasi *drop-and-swap* (lih. **Gambar 4.1**)
- b. Biaya investasi dan operasi sistem yang lebih rendah bila dibandingkan dengan kapal berkapasitas sama. Total biaya konstruksi tongkang-kapal tunda 57 – 68% lebih rendah untuk kapal dengan ukuran yang sama. Sedangkan biaya awak kapal dan provision 55 – 60% lebih rendah. Hal ini dengan catatan bahwa kecepatan sistem tongkang-kapal tunda 10 –12 knot sedangkan kecepatan kapal 13 – 15 knot.
- c. Memiliki sarat air yang lebih kecil, sekitar 65 – 75% dibandingkan sarat air kapal dengan kapasitas yang sama. Karakter ini sangat menguntungkan karena dapat membuat alat angkut dengan kapasitas yang lebih besar pada alur yang memiliki sarat terbatas.

- d. Tongkang yang menunggu di pelabuhan dapat berfungsi sebagai tempat penumpukan barang terapung (*floating warehouse*), sehingga barang tidak perlu ditumpuk di pelabuhan.
- e. Sistem tongkang-kapal tunda lebih mudah untuk dibuat dan diperbaiki. Konstruksi tongkang relatif lebih mudah dalam proses pembangunan maupun dalam perbaikannya dibandingkan dengan kapal yang memiliki kapasitas sama. Untuk kapal tunda, akan ada modifikasi pada bangunan atas yang dibuat sesuai dengan kebutuhan.

Sistem terpadu tongkang kapal tunda ini juga memiliki kekurangan, antara lain :

- a. Harga sistem penyambungan (*coupling system*) yang cukup mahal.
- b. Diperlukan *tugboat* dengan *power* yang cukup besar untuk mendorong *barge* sehingga memerlukan investasi yang besar untuk *tugboat*.

3.2 TINJAUAN TEKNIS TONGKANG-KAPAL TUNDA

3.2.1 Gambaran Umum Tongkang

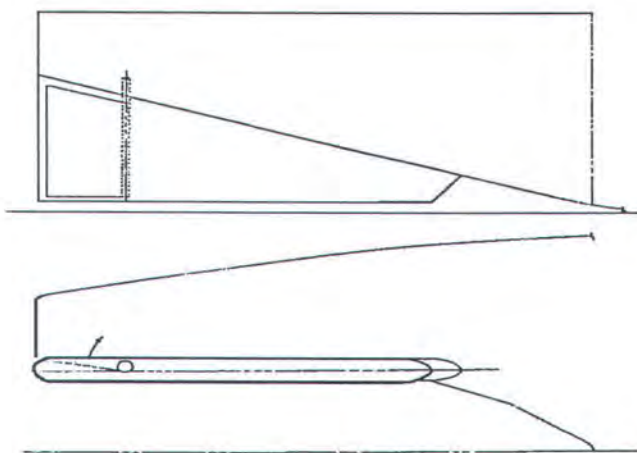
Tongkang/*barge* merupakan komponen ruang muat dari kesatuan *tug-barge system* sebagai angkutan batubara, sehingga *barge* harus direncanakan dan dikonstruksikan sesuai dengan jenis muatan tersebut. Bentuk haluan (*bow shape*) *barge* dibagi menjadi empat bentuk [Latorre, 1981], yaitu *ship shape bow*, *spoon bow*, *double chin bow*, *conventional bow*.

Tahanan yang terjadi pada berbagai bentuk haluan *barge* tersebut berbeda. Pada *displacement* yang sama, *barge* dengan bentuk haluan kapal (*ship shape bow*) memiliki tahanan yang minimum.

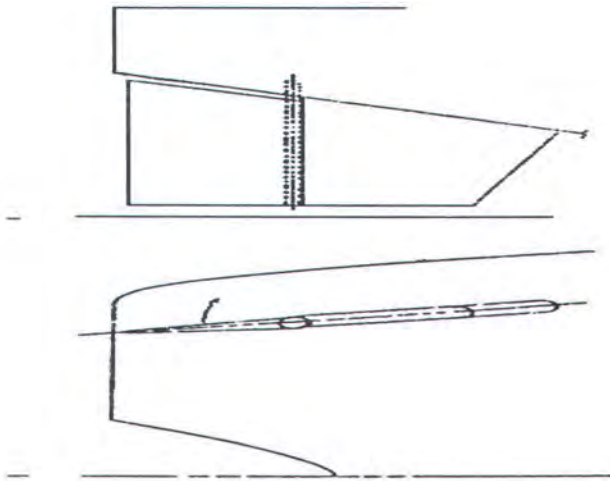
Pada bagian *stern*, barge memiliki *notch* untuk tempat tugboat agar tugboat pendorong dapat “masuk” dan terkunci di dalam *notch*. Dinding-dinding *notch* diperkuat untuk mengatasi beban yang ditimbulkan struktur penyambungan dan juga dilapisi *rubber* untuk menghindari gesekan dengan tugboat secara langsung (tidak merusak plat *barge* maupun *tugboat*).

Tongkang tidak memiliki *consumables* (bahan bakar dan air tawar), namun memiliki tangki untuk *ballast* dan pengaturan *trim*, karena jenis sambungan yang direncanakan hanya memiliki beberapa posisi ketinggian. Pada tongkang modern, dilengkapi *bow* dan *stern thruster* yang dikendalikan dengan *remote controlled*, *windlasses*, dan *mooring winches*. Tujuan pemasangan peralatan ini untuk membantu olah gerak kapal dan juga untuk mengurangi biaya pada saat sandar sehingga tidak memerlukan bantuan kapal tunda.

Barge juga direncanakan memiliki dua *skeg* yang dipasang pada bagian *stern* bertujuan untuk menambah stabilitas *barge* dan juga untuk mengurangi gerakan *yaw*. (lih. **Gambar 3.2** dan **3.3**)



Gambar 3.2 *Skeg Type Directional Stability dengan Notch Stern Berukuran Panjang*



Gambar 3.3 *Skeg Tipe Flow Line* dengan *Notch Stern* Berukuran Pendek

Perencanaan detail dan perhitungan konstruksi tongkang, dapat menggunakan buku Steel Barges [American Bureau of Shipping, 1991]

3.2.2 Gambaran Umum Kapal Tunda

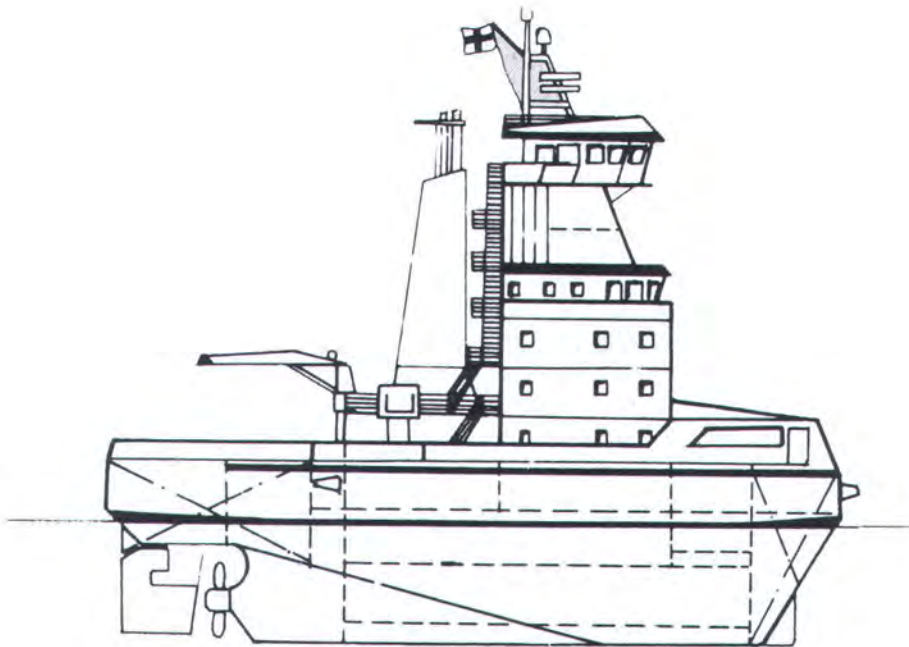
Ditinjau dari kegunaannya, kapal tunda/*tugboat* pada hakekatnya memiliki fungsi untuk memberikan bantuan atau pelayanan pada kapal atau obyek lainnya baik di laut maupun perairan pedalaman. Pada ITB *system tugboat* diposisikan di bagian belakang/*stern* dari *barge* yang berfungsi sebagai *steering* melalui struktur penyambungan (*coupling system*). Konstruksi pada bagian sisi *bow* dari *tugboat* juga diperkuat untuk mengatasi beban pada saat penyambungan dengan *barge*.

Konstruksi dari *tugboat* yang digunakan tidak jauh berbeda dengan *tugboat* lainnya. Hanya saja pada sistem ini, *tugboat* memiliki *pilot house* yang lebih tinggi daripada *tugboat* biasa, yang memungkinkan pandangan dari *pilot house*

melalui bagian atas obyek yang didorong tidak terhalang (lih. **Gambar 3.4**).

Tugboat dilengkapi juga dengan :

- alat dan perlengkapan penghubung/*connection* antara *tug* dan *barge*
- jumlah *crew* yang cukup untuk keperluan operasi
- tangki *ballast* untuk menyesuaikan ketinggian kapal tunda sehingga sistem penyambungan (*coupling*) dapat tepat pada posisinya.
- ruang akomodasi di bangunan atas yang terpasang secara fleksibel untuk mengurangi pengaruh getaran dan kebisingan dari kamar mesin.



Gambar 3.4 *Pusher Tug*

Peralatan canggih yang dapat terpasang pada *tugboat* antara lain [Wartsila Marine Locomotive, 1986]:

- *automatic navigational equipment* yaitu peralatan navigasi yang serba otomatis

- *controlled and monitoring system of the machinery* yaitu peralatan kontrol dan monitor kerja mesin induk dan mesin bantu dengan menggunakan pengendalian jarak jauh (*remote controlled*)
- *pump control* yaitu peralatan yang digunakan untuk mengatur kerja pompa *ballast*
- *connection control* untuk mengatur kerja *coupling*.

Kapal tunda direncanakan untuk berlayar dengan jarak yang cukup jauh sehingga tangki bahan bakar dan air tawar disesuaikan dengan kebutuhan. Tangki dengan ukuran besar pada kapal tunda akan menyebabkan besarnya permukaan air bebas yang berpengaruh pada stabilitas kapal. Untuk mengatasi hal ini dapat dipasang sekat sehingga mengurangi pengaruh permukaan bebas.

Untuk penyimpanan bahan makanan segar diperlukan suatu *cold storage* dan *refrigerator*. Peralatan penting lainnya adalah peralatan keselamatan (*safety equipment*) yang harus mengacu pada suatu peraturan tertentu (misalnya SOLAS Safety of Life at Sea). [Wood, Calwell, 1969].

3.2.3 Sistem Penyambungan (*Coupling System*)

Pemilihan jenis penyambungan yang akan digunakan tergantung pada :

- cuaca dan kondisi perairan yang akan dilayari
- kebutuhan akan olah gerak sistem (kontrol terhadap tongkang yang didorong)
- perbedaan sarat air pada kondisi operasional tongkang
- frekuensi pemasangan/penyambungan dan pelepasan tongkang dan *tugboat*

Pada prinsipnya *integrated tug barge system* memiliki dua jenis penggabungan (*coupling*) yaitu [ABS, 1991] :

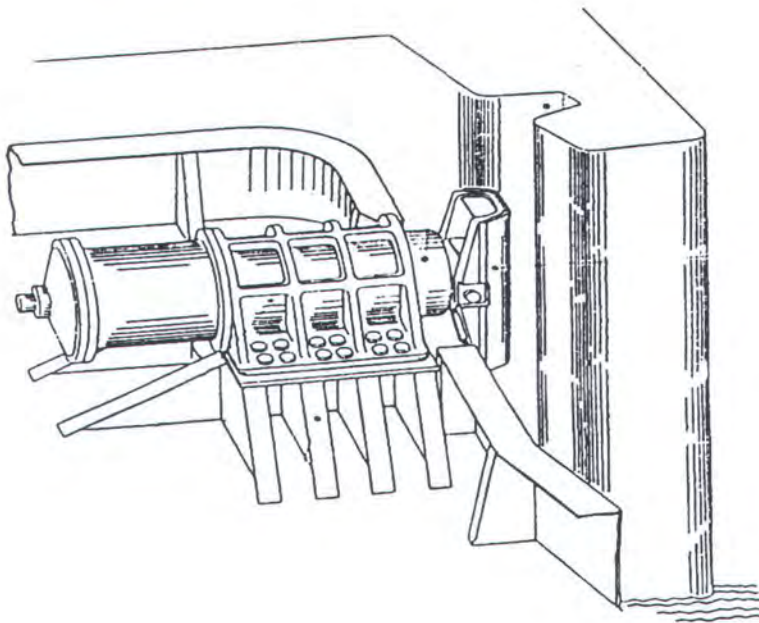
- *Rigid coupling*

Rigid connection/penyambungan kaku adalah suatu sistem penyambungan dimana tug “masuk” ke dalam *stern barge* dan tidak terjadi gerakan *relative* antara *tug* dan *barge* karena dianggap menjadi satu kesatuan saat berlayar.

Dirancang oleh Murvicker, Braith Ingram, Mitsui Jepang serta Artubar. Sistem terbaru yang digunakan saat ini adalah *deep-notch system* yang dikembangkan oleh Taisei Engineering Jepang yaitu Articouple System (K-series, FR-series, TRF-series), Artubar serta Bludworth system. Pada tugboat dilengkapi dengan peralatan yang memiliki *pin* dan *pressing shoe* untuk proses penguncian pada *connecting slot* dari barge. (lih. **Gambar 3.5**). Jenis penyambungan ini memungkinkan untuk mengeliminir semua gerakan kapal. Sistem ini dapat melayani pelayaran jarak jauh dengan tinggi ombak sampai 3 meter serta memungkinkan barge dengan 33.000 DWT mencapai kecepatan 10-12 knot pada *pushing mode* [Gulfcoast brochure, 1999]. Tipe coupling yang dipilih Articouple series karena memiliki kelebihan [Taisei Engineering, 1994]:

- Dapat mengatasi berbagai macam kondisi gelombang di laut.
- Menghubungkan pusher dengan barge tanpa mengatur ketinggian sarat sebelumnya (dapat dihubungkan pada setiap titik perubahan sarat)

- Proses penyambungan dan pelepasan tongkang dengan *tugboat* menggunakan *remote control*, sehingga tidak memerlukan tenaga manusia. Proses pelepasan ini hanya membutuhkan waktu 30 detik.
- Hanya terjadi gerakan relatif *pitching* antara *pusher* dan *barge*, sedangkan gerakan yang lain tidak ada. Hal ini menyebabkan *crew* tidak mengalami guncangan, getaran dan kebisingan selama penyambungan.
- *Harbour tug* dapat dikonversi sebagai *pusher* dengan memasang coupler pada *deck* sisi, sehingga tidak menyebabkan perubahan bentuk *bow*.



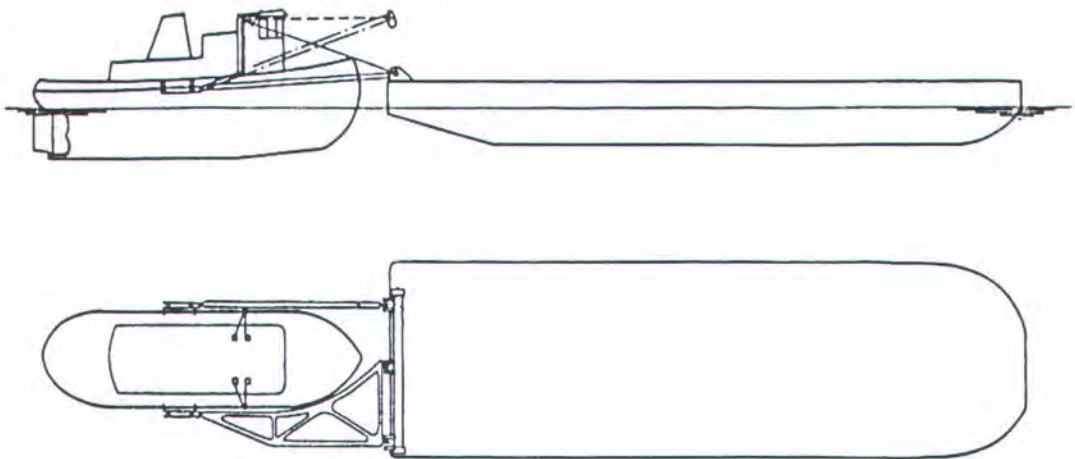
Gambar 3.5 Penyambungan *Rigid Coupling* Jenis Articouple System

- *Flexible Coupling*

Suatu sistem penyambungan *integrated tug barge* yang masih memungkinkan gerakan relative antara *tug* dan *barge* dalam satu atau lebih derajat kebebasan [ABS, 1991]

Salah satu jenis penyambungan *model flexible coupling* ini adalah Sea-Link. Menghubungkan antara *tug* dan bagian *stern* dari *barge* melalui suatu struktur kerangka (*structural framework*) dimana *tugboat* tidak langsung “bersinggungan “ dengan *barge* (lih. **Gambar 3.6**). Sistem penyambungan seperti ini memungkinkan gerakan horizontal *surge*, *sway* dan *yaw* serta gerakan *pitch* dan *heave*.

Karena sifat hubungannya yang tidak kaku, model penyambungan jenis ini hanya dapat digunakan untuk melayani pelayaran jarak dekat dan untuk perairan dengan ombak yang tidak besar.



Gambar 3.5 Penyambungan *Flexible Coupling* Jenis Sea-Link

3.2.4 Jumlah Awak Kapal

Penentuan jumlah awak kapal tergantung dari tipe dan jenis kapal, daerah pelayaran, dan peraturan negara yang bersangkutan [Poehls, 1978]. Jumlah awak kapal/*crew* yang dibutuhkan pada sistem ini lebih sedikit bila dibandingkan kapal dengan bobot yang sama. Tanpa memperhatikan ukuran/*size* dari system ini, ITB *system* membutuhkan jumlah awak kapal maksimum 13 orang [Fletcher, 1969], hal ini berarti tugboat dengan GRT di atas 300 gross tons juga akan membutuhkan 13 awak kapal. Sehingga untuk kapasitas *barge* s/d 75.000 ton *deadweight* hanya memerlukan maksimum 13 orang *crew*. Hal ini disebabkan karena :

1. *Engine room* dari tugboat beroperasi secara *highly-automated*, type dari *diesel tugs*, diklaskan untuk *engineroom* tanpa awak (*unattended engineroom service*) sehingga hanya *chief engineer*, *assistant engineer* dan awak *engineroom department* berkualifikasi yang lain yang dibutuhkan.
2. *Barge* diklaskan sebagai *unmanned* (tanpa awak) dengan tujuan untuk mengurangi *freeboard*, sehingga awak kapal tidak diijinkan berada di atasnya selama berlayar. Hal ini berarti bahwa jumlah *deck department crew* dapat dikurangi.

Pada umumnya pada pelayaran jarak dekat dibuat dua giliran jam kerja, sedangkan untuk pelayaran yang lebih jauh dibuat tiga giliran

3.2.5 Perhitungan Tahanan

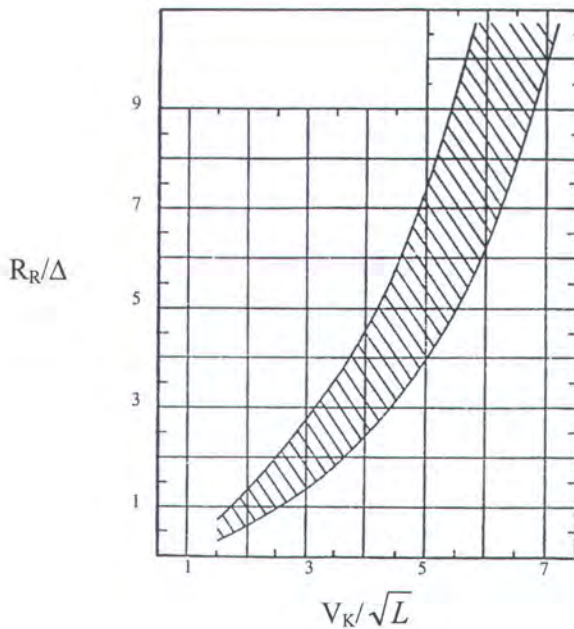
Untuk perhitungan tahanan [Latorre, 1981], *barge/tongkang* diklasifikasikan menjadi empat berdasarkan ukuran *notch* yaitu : *barge* tanpa *notch*, panjang *notch* 4 s/d 20 ft, 36 s/d 70 ft dan 90 s/d 115 ft. Berdasarkan metode Froude, tahanan total (*total resistance*) dibedakan menjadi komponen *residual*, R_R dan komponen *frictional*, R_F :

$$R_T = R_R + R_F$$

Perubahan tahanan yang disebabkan oleh *tugboat* di bagian *stern notch barge* tergantung pada panjang *notch*. Model test *barge* dengan panjang *notch* (*full scale*) 30 ft dan adanya *fixed skegs* menunjukkan bahwa penempatan *tugboat* pada *notch* menyebabkan tahanan dari *tug barge system* bertambah yang disebabkan adanya penambahan *wetted area*, sedangkan tahanan sisa berkurang. Untuk *barge* dengan panjang *notch* 50 s/d 90 ft, penempatan *tugboat* pada *notch* mengurangi tahanan *tug-barge*. Sedangkan *barge* dengan panjang *notch* lebih dari 90 ft, tidak terdapat perbedaan tahanan dengan ada atau tidaknya *tugboat* pada *notch barge*. Efek dari penempatan *tugboat* pada *stern notch barge* memerlukan penelitian yang lebih spesifik lagi.

Prosedur perhitungan tahanan *barge* adalah sebagai berikut :

- Menentukan nilai R_R/Δ untuk *panjang notch*, ln berdasarkan Gambar 3.6 dan 3.7, dari bagian teratas bidang diarsir untuk menghitung nilai yang maksimum



Gambar 3.6 Grafik $R_R/\Delta - V_K/\sqrt{L}$ Untuk *Barge* dengan Panjang *Notch* 90' s/d 115'

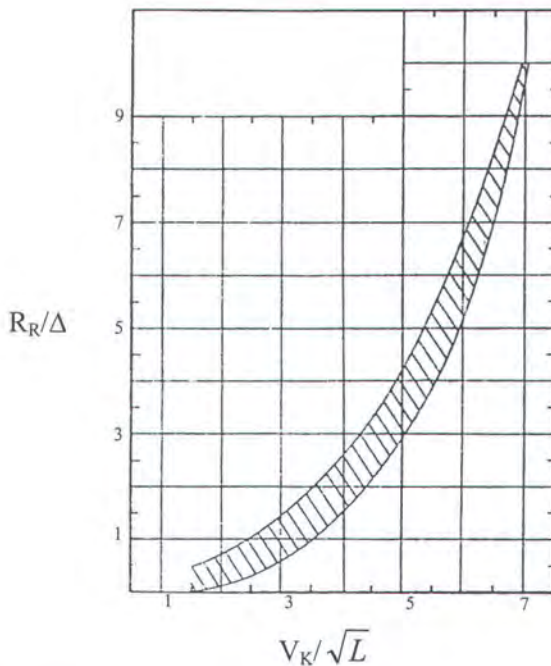
- Menghitung besaran V_K/\sqrt{L} dimana V_K adalah kecepatan (knot) dan L panjang barge (ft)
- Menggunakan kurva dari langkah 1 dan besaran V_K/\sqrt{L} untuk menentukan nilai R_R/Δ
- Menentukan luas permukaan basah (*wetted surface area*) berdasarkan formula yang diturunkan Fisher dan Serafin

$$S = 0.9206 L \times B + 1.669 L \times T \quad \text{ft}^2$$

(L , B dan T dalam feet)

- Menghitung tahanan gesek (*frictional resistance*), R_F dalam pounds :

$$R_F = f S V_K^{1.825} \quad \text{lb}$$



Gambar 3.6 Grafik $R_R/\Delta - V_K/\sqrt{L}$ Untuk Barge Dengan Panjang Notch 36' s/d 70'

- Menghitung tahanan sisa (*residual resistance*) dengan menggunakan nilai R_R/Δ dari langkah 3 dan mengalikannya dengan *displacement in long tons salt water* (LTSW)

$$\Delta = \frac{L B T}{35} C_B \quad \text{LTSW}$$

- Tahanan total (*total resistance*)

$$R_T = R_R + R_F \quad \text{lb}$$

3.3 TEORI PEMODELAN TRANSPORTASI

3.3.1 Sistem Transportasi Laut

Bagi perusahaan pelayaran, kapal adalah alat produksi yang digunakan untuk memperoleh penghasilan. Perusahaan pelayaran menawarkan (*supply*) ruangan di kapal untuk membawa barang dari satu tempat ke tempat lain. Penghasilan perusahaan didapat melalui penjualan jasa transportasi, dimana produksi jasa tersebut memerlukan biaya.

Biaya untuk “menjalankan” sebuah kapal tergantung pada kombinasi tiga faktor. Pertama, kapal itu sendiri yang memerlukan pembiayaan atas konsumsi bahan bakar, jumlah awak kapal yang diperlukan untuk mengoperasikan dan kondisi fisik kapal yang menentukan kebutuhan akan perawatan dan perbaikan. Kedua, *running cost* yang tergantung pada besarnya biaya untuk pembelian kebutuhan seperti *bunker*, gaji awak kapal, perawatan dan perbaikan, dimana semuanya berdasarkan kecenderungan umum harga pasaran dunia. Ketiga, tingkat biaya dipengaruhi oleh efisiensi manajemen pemilik dalam mengoperasikan kapal, termasuk *overhead* administrasi. Pada pelayaran tidak terdapat *standard cost classification* yang dapat diterima secara internasional, sehingga digunakan pendekatan untuk mengklasifikasikan *cost* menjadi empat kategori [Wijnolst, 1996] :

- a. Biaya operasional (*Operating cost*)
- b. Biaya modal (*Capital cost*)
- c. Biaya pelayaran/perjalanan (*Voyages cost*)
- d. Biaya bongkar muat kapal (*Cargo handling cost*)

a. Biaya operasional

Biaya operasional (*operating cost*) adalah biaya-biaya tetap (*fixed cost*) yang dikeluarkan untuk aspek-aspek operasional sehari-hari kapal dengan tujuan untuk membuat kapal selalu dalam keadaan siap berlayar. Yang termasuk dalam kelompok biaya operasi yaitu : biaya ABK, perawatan dan perbaikan, *stores*, bahan makanan, minyak pelumas, asuransi, biaya manajemen dan administrasi.

$$OC = M + ST + MN + I + AD$$

dimana :

OC	= operating cost	M	= manning
ST	= <i>stores</i>	MN	= <i>maintenance and repair</i>
I	= <i>insurance</i>	AD	= administrasi

□ Biaya Anak Buah Kapal

Biaya anak buah kapal atau *manning cost* atau disebut juga *crew cost* adalah biaya-biaya langsung maupun tidak langsung untuk anak buah kapal (ABK), termasuk di dalamnya adalah gaji pokok dan tunjangan, asuransi sosial, uang pensiun dan *repatriasi* (tenaga asing). Besarnya *crew cost* ditentukan oleh jumlah dan struktur pembagian kerja yang dalam hal ini tergantung pada ukuran-ukuran teknis kapal. Secara umum struktur kerja yang melibatkan unsur manusia dalam sebuah kapal terbagi atas 3 departemen, yaitu *deck department*, *engine department* dan *catering department*.

❑ Biaya Perbekalan

Disebut juga biaya persediaan (*stores cost*) dan dikategorikan menjadi 2 macam, yaitu untuk keperluan kapal (cadangan perlengkapan kapal & peralatan kapal, *spare parts*, minyak pelumas) dan keperluan *crew* (bahan makanan).

❑ Biaya Perawatan dan Perbaikan

Biaya perawatan dan perbaikan (*maintenance and repair*) mencakup semua kebutuhan untuk mempertahankan kondisi kapal sesuai standard kebijakan perusahaan maupun persyaratan badan klasifikasi. Biaya ini dapat dibagi dalam tiga kategori :

- Perawatan rutin

Meliputi pemeliharaan mesin induk dan peralatan bantu, cat bangunan atas, dan pengedokan (*dry-docking*) untuk memelihara lambung dari *marine growth* yang mengurangi efisiensi operasi kapal. Biaya perawatan rutin ini makin bertambah seiring umur kapal.

- Survey klasifikasi.

Untuk mempertahankan kelas untuk tujuan asuransi, kapal harus menjalani *survey regular dry-docking* tiap dua tahun dan *special survey* tiap empat tahun.

- Perbaikan

Adanya kegagalan operasi mekanis sehingga perlu diadakan pembongkaran untuk memperbaikinya.

❑ Asuransi

Asuransi (*insurance cost*) adalah komponen pembiayaan yang dikeluarkan sehubungan dengan resiko pelayaran (*navigation risk*) yang dilimpahkan kepada perusahaan asuransi. Komponen pembiayaan ini berbentuk pembayaran premi asuransi kapal yang besarnya tergantung pertanggungan dan umur kapal. Hal ini menyangkut sampai sejauh mana resiko yang dibebankan melalui *claim* pada perusahaan asuransi. Makin tinggi resiko yang dibebankan, makin tinggi pula premi asuransinya. Demikian pula halnya dengan umur kapal yang ikut mempengaruhi *rate* premi asuransi, yakni *rate* yang lebih tinggi akan dikenakan pada kapal yang lebih tua umurnya. Jenis asuransi yang dipakai perusahaan pelayaran terhadap kapalnya ada dua jenis yaitu :

- *Hull and machinery insurance*

Perlindungan terhadap badan kapal dan permesinannya atas kerusakan dan kehilangan.

- *Protection and Indemnity Insurance*

Asuransi perlindungan terhadap kewajiban kepada pihak ketiga seperti kecelakaan atau meninggalnya awak kapal, penumpang atau pihak ketiga; kerusakan dermaga karena benturan, kehilangan atau kerusakan muatan, polusi dan hal-hal lain yang tidak ter-cover oleh pasar asuransi.

❑ Administrasi

Biaya administrasi termasuk dalam anggaran biaya operasional tahunan yang harus diperhitungkan dalam menjalankan suatu usaha diantaranya biaya

pengurusan surat-surat kapal, biaya sertifikat dan pengurusannya, biaya pengurusan ijin kepelabuhanan maupun fungsi administratif lainnya. Biaya ini biasa disebut juga biaya *overhead* yang besarnya tergantung dari besar kecilnya perusahaan dan jumlah armada yang dimiliki.

b. Biaya modal

Biaya modal (*capital cost*) disertakan dalam kalkulasi biaya untuk menutup pembayaran bunga pinjaman dan pengembalian modal, tergantung bagaimana pembelian/pengadaan kapal dibiayai. Saat kapal dibeli atau dibangun, harga kapal merupakan nilai kapital kapal tersebut. Pengembalian nilai kapital ini direfleksikan sebagai pembayaran tahunan, *annual cost of capital recovery* (ACCR) pada tingkat bunga (*interest rate*) dan jangka waktu tertentu. Permasalahan yang mendasar adalah menentukan pada tingkat suku bunga (*i*) berapa yang dipakai serta umur ekonomis (*n*) investasi.

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$$ACCR = (CRF) \cdot P$$

dimana :

CRF = *Capital Recovery Factor*, faktor pengembalian modal

P = Initial cost, harga beli kapal

i = Tingkat suku bunga pinjaman

N = Umur ekonomis kapal

Umumnya *capital cost* terdiri dari dua bagian, yakni pembayaran pinjaman (bunga pinjaman dan pinjaman pokok) dan penyusutan (*depresiasi*) modal kapal.

pengurusan surat-surat kapal, biaya sertifikat dan pengurusannya, biaya pengurusan ijin kepelabuhanan maupun fungsi administratif lainnya. Biaya ini biasa disebut juga biaya *overhead* yang besarnya tergantung dari besar kecilnya perusahaan dan jumlah armada yang dimiliki.

b. Biaya modal

Biaya modal (*capital cost*) disertakan dalam kalkulasi biaya untuk menutup pembayaran bunga pinjaman dan pengembalian modal, tergantung bagaimana pembelian/pengadaan kapal dibiayai. Saat kapal dibeli atau dibangun, harga kapal merupakan nilai kapital kapal tersebut. Pengembalian nilai kapital ini direfleksikan sebagai pembayaran tahunan, *annual cost of capital recovery* (ACCR) pada tingkat bunga (*interest rate*) dan jangka waktu tertentu. Permasalahan yang mendasar adalah menentukan pada tingkat suku bunga (*i*) berapa yang dipakai serta umur ekonomis (*n*) investasi.

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$$ACCR = (CRF) \cdot P$$

dimana :

- CRF = Capital Recovery Factor, faktor pengembalian modal
- P = Initial cost, harga beli kapal
- i = Tingkat suku bunga pinjaman
- N = Umur ekonomis kapal

Umumnya *capital cost* terdiri dari dua bagian, yakni pembayaran pinjaman (bunga pinjaman dan pinjaman pokok) dan penyusutan (*depresiasi*) modal kapal.

Capital cost suatu kapal atau perusahaan pelayaran tergantung dari beberapa faktor, diantaranya :

- biaya investasi, yaitu harga kapal baik pembangunan kapal baru atau kapal bekas, termasuk komisi broker dan biaya mendatangkan kapal
- struktur pembiayaan investasi, tergantung pada berapa besar penyertaan modal pemilik dan seberapa besar modal dari pinjaman.
- bunga pinjaman, yang tergantung dari besarnya pinjaman dan tingkat suku bunga yang berlaku umum
- umur ekonomis kapal
- peraturan perpajakan yang mempengaruhi tingkat depresiasi

c. Biaya Perjalanan

Biaya perjalanan (*voyage cost*) merupakan biaya-biaya variabel yang dikeluarkan kapal untuk kebutuhan selama pelayaran. Yang termasuk komponen *voyage cost* adalah : bahan bakar (*bunker cost*) untuk mesin induk dan motor bantu, ongkos-ongkos pelabuhan (*port dues*), pemanduan dan tunda.

$$VC = FC + PD + TP$$

dimana :

VC = Voyage cost

FC = Biaya bahan bakar (*fuel cost*)

PD = ongkos pelabuhan

TP = pandu dan tunda

□ Biaya Bunkering

Bunker adalah bahan bakar di dalam kapal. Konsumsi bahan bakar kapal ditentukan oleh beberapa variabel seperti ukuran kapal, bentuk dan kondisi

lambung, pelayaran bermuatan atau *ballast*, kecepatan, cuaca (gelombang, arus laut, angin), jenis dan kapasitas mesin induk dan motor bantu, jenis dan kualitas bahan bakar.

Biaya bahan bakar tergantung pada konsumsi harian bahan bakar (*daily consumption*) selama berlayar di laut dan di pelabuhan, serta harga bahan bakar. Jenis bahan bakar yang dipakai ada 3 macam : HSD, MDO dan HFO.

$$\begin{aligned} \text{FuelCost} = & QHSD . (HSD \text{ port.PortTime} + HSD\text{sea.SeaTime}) \\ & + QMDO . (MDO\text{port.PortTime} + MDO\text{sea.SeaTime}) \\ & + QHFO . (HFO\text{port.PortTime} + HFO\text{sea.SeaTime}) \end{aligned}$$

dimana :

QHSD, QMDO, QHFO = harga HSD, MDO dan HFO
(Rp/kL)

HSDport, MDOport, HFOport = konsumsi harian HSD, MDO dan
HFO di pelabuhan (kL/hari)

HSDSea, MDOSea, HFOSea = konsumsi harian HSD, MDO dan
HFO di laut (kL/hari)

□ Port Cost

Biaya-biaya yang dikeluarkan selama kapal di pelabuhan meliputi *port dues* dan *service charges*. *Port dues* yakni biaya yang dikenakan atas penggunaan fasilitas pelabuhan seperti dermaga, tambatan, kolam pelabuhan, gudang dan infrastruktur lainnya yang besarnya tergantung volume *cargo*, berat *cargo*, GRT kapal, dan NRT kapal. *Service charges* meliputi jasa yang dipakai kapal selama di pelabuhan termasuk pandu dan tunda.

Biaya-biaya kepelabuhan saat ini berdasarkan SK Menteri Perhubungan No. 65 tahun 1994, tentang tarif jasa kepelabuhanan untuk kapal angkutan dalam negeri dan jasa kepelabuhanan lainnya di pelabuhan laut yang diusahakan serta pelabuhan khusus. Untuk lebih jelas mengenai tarif jasa kepelabuhanan dapat dilihat pada lampiran.

□ Cargo Handling Cost

Biaya bongkar muat berpengaruh penting terhadap total biaya pelayaran, mengingat penanganan muatan secara tradisional menghabiskan hampir setengah dari total waktu kapal di pelabuhan. Biaya bongkar muat merupakan jumlahan dari biaya pembongkaran barang, biaya pemuatan barang dan ditambah *allowance* untuk klaim pemilik barang yang mungkin terjadi.

$$CHC = L + Dis + CL$$

dimana :

$$CHC = \text{Cargo handling cost} \quad CL = \text{Cargo claims}$$

$$L = \text{Cargo loading cost} \quad Dis = \text{Cargo discharging cost}$$

Untuk memenuhi permintaan angkutan barang (Q_{demand}) dalam kurun waktu tertentu, maka harus direncanakan suatu armada yang dalam kurun waktu tersebut kapasitasnya minimal sama dengan permintaan ($Q_{\text{supply}} \geq Q_{\text{demand}}$). Dalam perencanaan armada dapat menggunakan rumus-rumus antara lain

□ Jumlah barge dan tugboat (1 set) yang dibutuhkan :

$$Nv = Q / (Cap_{max} \times Rtpa) \quad [\text{unit}]$$

dimana :

Q = kapasitas transport maximum = Q_{demand} (ton)

Cap_{max} = *payload* dari *barge* (ton)

$Rtpa$ = Round trip per kapal per tahun

- Round trip per kapal per tahun dapat dicari :

$$\begin{aligned} Rtpa &= OD_{\text{eff}} / R \text{ trip} \\ &= (365 - Z) / Rtrip \end{aligned}$$

dimana :

OD_{eff} = waktu operasional kapal (hari)

Z = *off hire time* (hari)

$Rtrip$ = merupakan fungsi dari waktu berlayar, waktu bongkar muat dan waktu tunggu di pelabuhan (hari).

- Waktu round trip (hari)

$$Rtrip = T_{\text{sea}} + T_{\text{port}}$$

dimana :

T_{sea} = waktu berlayar (hari)

T_{port} = waktu kapal di pelabuhan (hari)

$$= T_{\text{port}} + T_{\text{wait}}$$

- Waktu berlayar (hari)

$$T_{\text{sea}} = D / (24 \times V_s)$$

dimana :

D = jarak (n miles)

V_s = kecepatan service (knot)

Dari persamaan di atas dapat diketahui jumlah set dari *barge* dan *tugboat* untuk selanjutnya dapat direncanakan perencanaan armada dengan proses optimisasi. Proses optimisasi ini akan menentukan ukuran (*size*) *barge* dan kapasitas muat serta kecepatan *tugboat* yang akan digunakan secara keseluruhan dalam satu sistem (bukan satu trip) untuk masing-masing alternatif didasarkan atas penentuan biaya (*total cost*) yang paling murah.

3.3.2 Metode Optimisasi Non Linier

a. Generalized Reduced Gradient Method

Proses optimisasi didefinisikan sebagai proses untuk mendapatkan satu hasil yang relatif lebih baik (maksimum atau minimum) dari beberapa kemungkinan hasil yang memenuhi syarat berdasarkan batasan-batasan yang diberikan / tertentu [Setijoprajudo]. Secara umum proses optimisasi dinyatakan sbb:

Fungsi Obyektif

min/ max

$f(x)$

Variabel

$X = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ . \\ . \\ x_n \end{Bmatrix}$

Dengan Batasan

$g_j(x) \leq 0, \quad j = 1,2,3,...,m$
 $l_j(x) = 0, \quad j = 1,2,3,...,p$

Proses optimisasi akan melibatkan :

- Variabel : Harga yang akan dicari dalam proses optimisasi.

- Parameter : Harga yang tidak berubah besarnya selama satu kali proses optimisasi karena adanya syarat-syarat tertentu.
- Konstanta : Harga yang tidak berubah besarnya selama proses optimisasi berlangsung tuntas.
- Batasan : Harga batas yang telah ditentukan oleh pihak perencana
- Fungsi Obyektif : Fungsi hubungan dari semua atau beberapa variabel yang harganya dioptimumkan.

Solver untuk model optimisasi tugas akhir ini menggunakan metoda Generalized Reduced Gradient (GRG). Teknik ini dapat digunakan untuk penyelesaian optimisasi dengan fungsi obyektif dan batasan nonlinier.

Metode GRG didasari oleh ide eliminasi variabel dengan batasan berupa suatu persamaan [Rao, S.S., 1996]. Secara teoritis, satu variabel dapat diperoleh dari pengurangan satu set variabel x_i ($i=n+1, n+2, \dots, n+m$) untuk tiap $m+1$ batasan yang berasal dari persamaan :

$$h_j(x) + x_{n+j} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$h_k = 0, \quad k = 1, 2, \dots, l$$

Selanjutnya $n+m$ desain variabel dibagi menjadi dua set, sbb:

$$X = \begin{Bmatrix} Y \\ Z \end{Bmatrix}$$

$$Y = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_{n-1} \end{Bmatrix} = \text{desain atau independen variabel}$$

$$Y = \begin{Bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_{m+1} \end{Bmatrix} = \text{state atau dependen variabel}$$

Desain variabel adalah variabel bebas dan state variabel adalah variabel yang tergantung dari desain variabel dan digunakan untuk memenuhi batasan $g_j(x)=0$, $j= 1,2,\dots,m+1$. Persamaan Generalized Reduced Gradient didefinisikan oleh persamaan :

$$G_R = \nabla_Y f - ([D]^{-1}[C])^T \nabla_Z f$$

Secara geometris , GRG dapat diterangkan sebagai proyeksi dari orisinal n -dimensi gradien ke $(n-m)$ dimensi daerah feasible yang dijelaskan oleh desain variabel. Fungsi dengan batasan diasumsikan memiliki nilai minimum pada saat komponen yang sesuai dari reduced gradien bernilai nol. G_R dapat digunakan untuk membangkitkan arah pencarian S untuk mengurangi nilai batasan fungsi obyektif , yang sama halnya dengan gradien ∇f dan digunakan untuk membangkitkan arah pencarian S pada fungsi obyektif tanpa batasan. Langkah yang sesuai λ dipilih untuk meminimasi nilai dari f sepanjang arah pencarian S . Untuk suatu harga λ , variabel dependen vektor Z disesuaikan dengan menggunakan persamaan :

$$dZ = -[D]^{-1}[C]dY$$

Batasan yang didapatkan mungkin tidak tepat nol pada λ , $dg \neq 0$. Y kemudian dibuat tetap, untuk mendapatkan :

$$g_i(X) + dg_i(X) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m + 1$$

Kita harus memiliki :

$$g(X) + dg(X) = 0,$$

Dengan menggunakan persamaan :

$$dg = [C]dY + [D]dZ$$

kita mendapatkan:

$$dZ = -[D]^{-1}(-g(X) - [C]dY)$$

Nilai dZ yang berasal dari persamaan di atas digunakan untuk menyesuaikan nilai Z ,

$$Z_{UPDATE} = Z_{CURRENT} + dZ$$

Batasan dievaluasi pada vektor X yang disesuaikan, dan prosedur pencarian dZ diulangi sampai nilai dZ cukup kecil.

b. Pengujian Solver

Digunakan paket program komputer yang telah ada untuk menyelesaikan model optimisasi. Paket program yang digunakan penulis adalah Microsoft Excel dengan memanfaatkan *add-inns* program Microsoft Excel Solver.

Pengujian program (*solver*) dan verifikasi hasil perhitungan dilakukan dengan menggunakan empat persoalan optimisasi matematis murni [Achmadi, 1998] dan optimisasi perancangan kapal container [Aryawan, 1988]

Uji 1 [Bunday, 1987]

$$\text{Min } Z = (x_1 - 1) (x_1 - 2) (x_1 - 3) x_3$$

s.t.

$$x_3^2 - x_1^2 - x_2^2 \leq 0$$

$$x_1^2 + x_2^2 + x_3^3 - 4 \leq 0$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

Titik minimum yang sesungguhnya berada pada $(X_1, X_2, X_3) = (0, \sqrt{2}, \sqrt{2})$ dengan nilai fungsi tujuan (*objective function value*) $-6 + \sqrt{2}$. Penyelesaian numerik pada persoalan ini diperoleh setelah 12 iterasi dengan menggunakan nilai awal (0.1, 2, 2.1). Penyelesaian optimal pada persoalan ini adalah sebagai berikut:

$$X^* = [X_1, X_2, X_3]^T = [0.0 \ 1.41421 \ 1.41421]^T$$

Dan nilai fungsi tujuan (*objective function*) adalah

$$F^*(X) = -4.58579$$

Luaran lengkap dari penyelesaian tercantum pada lampiran.

Uji 2 [Rao, 1990]

$$\text{Min } Z = x_1^3 + 6x_1^2 + 11x_1 + x_3$$

s.t.

$$x_1^2 + x_2^2 - x_3^2 \leq 0$$

$$4 - x_1^2 - x_2^2 - x_3^2 \leq 0$$

$$x_3 - 5 \leq 0$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

dengan menggunakan titik awal :

$$X_0 = [X_1, X_2, X_3]^T = [0.1 \ 0.1 \ 3.0]^T$$

Setelah 3 iterasi, penyelesaian optimal didapatkan sebagai berikut :

$$X^* = [X_1, X_2, X_3]^T = [0.0 \ 1.41421 \ 1.41421]^T$$

Dan nilai fungsi tujuan (*objective function value*) adalah :

$$F^*(x) = 1.41422$$

Luaran lengkap dari penyelesaian tercantum pada lampiran.

Uji 3 [Bunday, 1987]

Ini adalah uji yang paling sederhana untuk mengecek apakah solver mampu mendapatkan penyelesaian fungsi tujuan (*objective function*) non linier dengan batasan kesamaan linier (*linier equality constraints*).

$$\text{Min } Z = x_1^2 + x_2^2$$

s.t.

$$x_1 + x_2 = 0$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

dengan menggunakan titik awal :

$$X_0 = [X_1, X_2]^T = [1.89 \quad 1.89]^T$$

Setelah 3 iterasi, penyelesaian optimal didapatkan sebagai berikut :

$$X^* = [X_1, X_2]^T = [0.0 \quad 1.41421 \quad 1.41421]^T$$

Dan nilai fungsi tujuan (*objective function value*) adalah :

$$F^*(x) = 8$$

Luaran lengkap dari penyelesaian tercantum pada lampiran.

Uji 4 [Rao, 1990]

Pengujian ini lebih rumit dibandingkan dengan pengujian-pengujian sebelumnya, dimaksudkan untuk menguji apakah solver mampu menemukan penyelesaian tiga derajat fungsi tujuan (*objective function*) non linier dengan batasan ketidaksamaan non linier.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & 15x_1 - 27x_2 - 36x_3 - 18x_4 - 12x_5 + \\ & 30x_1^2 + 39x_2^2 + 10x_3^2 + 39x_4^2 + 30x_5^2 - \\ & 40x_1x_2 - 20x_1x_3 + 64x_1x_4 - 20x_1x_5 - \\ & 12x_2x_3 - 62x_2x_4 + 64x_2x_5 - \\ & 12x_3x_4 - 20x_3x_5 - 40x_4x_5 + \\ & 4x_1^3 + 8x_2^3 + 10x_3^3 + 6x_4^3 + 2x_5^3 \end{aligned}$$

Penyelesaian sesungguhnya dari persoalan di atas adalah $X^* = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5) = (0.3, 0.33347, 0.40, 0.42831, 0.22396)$, dan nilai minimum fungsi tujuan (*objective function*) Z adalah -32.34868 .

Dengan fungsi pembatas sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
16x_1 - 2x_2 - x_4 &\leq 40 \\
2x_2 - 0.4x_4 - 2x_5 &\leq 2 \\
\frac{7}{2}x_1 - 2x_3 &\leq \frac{1}{4} \\
2x_2 + 4x_4 + x_5 &\leq 4 \\
9x_2 + 2x_3 - x_4 + 2.8x_5 &\leq 4 \\
-2x_1 + 4x_3 &\leq 1 \\
x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 &\leq 40 \\
x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 2x_4 + x_5 &\leq 60 \\
-x_1 - 2x_2 - 3x_3 - 4x_4 - 5x_5 &\leq -5 \\
-x_1 - x_2 - x_3 - x_4 - x_5 &\leq -1 \\
x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 &\geq 0
\end{aligned}$$

dengan menggunakan titik awal :

$$X_0 = [X_1, X_2, X_3, X_4, X_5]^T = [0.1 \ 0.1 \ 0.1 \ 0.1 \ 1.0]^T$$

Setelah 4 iterasi, penyelesaian optimal didapatkan sebagai berikut :

$$X^* = [X_1, X_2, X_3, X_4, X_5]^T = [0.29993 \ 0.33346 \ 0.39999 \ 0.42828 \ 0]$$

Dan nilai fungsi tujuan (*objective function value*) adalah :

$$F^*(X) = -3.248678 \text{ E}+01$$

Luaran lengkap dari penyelesaian tercantum pada lampiran.

Uji 5 [Aryawan, 1988]

Pengujian ini berbeda dengan pengujian sebelumnya yang merupakan persoalan matematis murni. Pengujian dimaksudkan untuk menguji apakah solver juga mampu mengatasi persoalan desain, dalam hal ini optimisasi penentuan ukuran utama kapal container.

Objective function dalam penentuan ukuran utama kapal container adalah sebagai berikut:

$$f(x) = W_1 (Cost(x))^2 + W_2 (W_p - W(x))^2 + W_3 (CN_p - CN(x))^2$$

dengan fungsi pembatas :

s.t

$$\begin{array}{ll} \text{Speed length ratio } x_1 & 0,8 \leq x_1 \leq 1,1 \\ \text{Length breadth ratio } x_2 & 5,2 \leq x_2 \leq 8,5 \\ \text{Breadth draught ratio } x_3 & 2,5 \leq x_3 \leq 3,5 \\ \text{Length draught ratio } x_4 & 6,9 \leq x_4 \leq 13,7 \\ \text{Block Coefficient } x_5 & 0,54 \leq x_5 \leq 0,7 \end{array}$$

dimana :

1. $W_1 + W_2 + W_3 = 1$, adalah faktor berat; $W_1 = 0.5$, $W_2 = 0.25$, $W_3 = 0.25$
2. $Cost(x)$, adalah biaya pembuatan kapal ditambah biaya penggunaan bahan bakar tiap tahunnya, yang merupakan fungsi dari *design variabel*
3. W_p adalah berat muatan bersih yang dibutuhkan yang merupakan permintaan dari pemesan (parameter)
4. $W(x)$ adalah berat muatan bersih yang sesungguhnya yang merupakan fungsi dari *design variabel*.
5. CN_p adalah unit container dalam satuan TEU yang dibutuhkan, merupakan permintaan dari pemesan (parameter)
6. $CN(x)$ adalah unit container dalam satuan TEU yang sesungguhnya, merupakan fungsi dari *design variabel*.
7. $(X) = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$ adalah desain variabel.

dengan menggunakan titik awal :

$$X_0 = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5]^T = [705.37 \ 100.05 \ 54.11 \ 0.59 \ 29.12]^T$$

Setelah 3 iterasi, penyelesaian optimal didapatkan sebagai berikut :

$$X^* = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5]^T = [705.38 \ 100.42 \ 53.69 \ 0.54 \ 28.69]$$

Dan nilai fungsi tujuan (*objective function value*) adalah :

$$F^*(x) = 69.600.232.841,4$$

Luaran lengkap dari penyelesaian tercantum pada lampiran.

3.3.3 Regresi Linier

Untuk melihat hubungan antara beberapa variabel dimana variabel yang satu akan mempengaruhi variabel yang lain atau sebaliknya dapat digunakan model regresi. Model regresi membahas pengaruh hubungan linier antara variabel satu dengan lainnya. Dimisalkan variabel bebas X (*prediktor*) akan mempengaruhi variabel dependen Y (*responen*), maka analisis regresi dibutuhkan untuk membentuk model hubungan antara variabel ini.

Secara umum bentuk model regresi linier berganda adalah sebagai berikut :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

dengan asumsi :

1. Untuk tiap harga X_1, X_2, \dots, X_k , komponen error ε berdistribusi normal

dengan rata-rata nol dan memiliki varians σ_ε^2

2. Komponen error ε tidak berkorelasi satu dengan yang lainnya.

Garis regresi populasi tidak dapat ditentukan secara tepat, untuk itu dengan menggunakan data-data yang ada akan dibuat estimasi garis regresinya. Untuk mengukur seberapa baiknya estimasi ini dilakukan pengukuran perbedaan antara masing-masing titik estimasi dengan titik-titik dari data yang diukur dimana total jumlah perbedaan ini adalah nol. Misalnya nilai estimasi β_0 , β_1 dan β_k adalah b_0 , b_1 dan b_k , maka garis estimasinya :

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k$$

sedangkan nilai pengamatan sesungguhnya adalah variabel dependen y . Sehingga terdapat perbedaan sebesar :

$$e = y - \hat{y}$$

Nilai perbedaan pada persamaan di atas dapat positif atau negatif, sehingga untuk mendapatkan besaran yang sama maka e dikuadratkan.

$$e^2 = (y - \hat{y})^2$$

Metode kuadrat terkecil adalah metode untuk mengestimasi harga parameter dimana nilai perbedaan adalah minimum. Parameter b_0 , b_1 , ... b_k dengan syarat perbedaan minimum dapat ditentukan dengan meminimumkan kuadrat e atau *sum of squares due to error* (SSE).

$$SSE = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum \left[y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1x_{1i} + \hat{\beta}_2x_{2i} + \dots + \hat{\beta}_kx_{ki}) \right]^2$$

BAB IV

MODEL ANGKUTAN BATUBARA SISTEM TONGKANG-KAPAL TUNDA

4.1 ALTERNATIF POLA OPERASI TONGKANG-KAPAL TUNDA

Dengan mempertimbangkan utilitas kapal tunda (*tugboat*), maka didapatkan beberapa kemungkinan pergerakan tongkang-kapal tunda untuk melayari jalur pelayaran Kelanis – Paiton adalah sebagai berikut :

Alternatif 1 : satu kapal tunda dan satu tongkang (n kapal tunda + n tongkang)

Pada alternatif ini *tug boat* mengalami *idle* di kedua pelabuhan (pelabuhan bongkar dan pelabuhan muat) dimana *tugboat* dan *barge* tidak pernah terpisah.

Alternatif 2 : satu kapal tunda dan dua tongkang

Pada alternatif ini *tugboat* direncanakan hanya mengalami *idle* di pelabuhan muat,

Alternatif 3 : satu kapal tunda (*tugboat*) dan tiga tongkang (*barge*)

Tugboat tidak mengalami *idle time* di kedua pelabuhan, sehingga utilitas *tug boat* sangat maksimal.

Alternatif 4 : Dua kapal tunda dan tiga tongkang

Direncanakan pergerakan salah satu *tugboat* mengalami *idle* di pelabuhan muat, secara bergantian.

Alternatif 5 : Dua *tugboat* dan empat *barge*

Kedua *tugboat* tidak pernah mengalami *idle time*

Berdasarkan pengujian hipotesa koefisien regresi secara serentak terlihat bahwa nilai F_{hitung} sebesar 168,992 lebih besar dari F_{tabel} dengan $\alpha = 0,05$, $v_1 = 3$ dan $v_2 = 23$ yaitu 3,03 sehingga dapat disimpulkan 'Tolak H_0 ' atau secara keseluruhan model yang ada adalah *significant*.

Untuk mengetahui apakah parameter dari β_1 , β_2 dan β_3 significant dalam model maka perlu dilakukan uji parsial, dan ternyata untuk β_2 mempunyai harga $t_{hitung} > t_{tabel}$ (5%, 23, 1.714) sehingga dapat disimpulkan β_2 secara statistik mempunyai arti dalam model.

Koefisien determinasi, $R^2 = 0.975$ menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang linear antara $\log Payload$ dengan $\log L$, $\log B$ dan $\log H$ dan 97.5 % variabilitas observasi dalam $\log Payload$ dapat dijelaskan oleh $\log L$, $\log B$ dan $\log H$.

Dari hasil analisis Plot-Normal, dapat disimpulkan bahwa model yang dipakai mempunyai residual yang berperilaku tidak menyimpang dari asumsi-asumsi analisis regresi linier. Hal ini juga dapat dilihat bahwa tidak ada keterkaitan antar residual yang ditunjukkan oleh Durbin Watson test [SPSS, 1998].

Sehingga model penduga dapat digunakan untuk memperkirakan harga $\log Payload$.

b. Model Persamaan Regresi 4.2

Dari hasil pengolahan program SPSS persamaan 4.2 [lih. **Lampiran 2**] didapatkan persamaan :

4.2.2 Elemen Penyusun Biaya Transportasi

Biaya yang dikeluarkan sehubungan dengan pengoperasian sebuah kapal dalam pelayaran niaga dapat dibedakan dalam dua kategori, yaitu biaya tetap (*fixed cost*) dan biaya tidak tetap (*variable cost*). Biaya tetap dinyatakan sebagai biaya yang jumlahnya relatif konstan selama kegiatan berlangsung dan tidak tergantung dari tingkat kegiatan yang dicapai. Biaya tidak tetap merupakan biaya yang besarnya berubah-ubah sesuai dengan *ton mile produced* [Setijoprajudo, 1993]. Dalam perhitungan *transport cost*, sistem terpadu tongkang-kapal tunda terdiri dari dua elemen biaya, yaitu biaya yang dikeluarkan kapal tunda dan biaya yang dikeluarkan tongkang :

1. Tongkang

□ Fixed cost terdiri dari *capital cost, insurance, maintenance & repair, administration.*

FC_{tongkang} = f(*capital cost, insurance, maintenance & repair, administration*)

- Capital cost = ACCR (Annual Capital Cost Recovery)

= $\frac{(CR - TR / N)}{(1,0 - TR)} \times \text{Investasi awal}$

dimana :

CR = Capital recovery factor = $\frac{i (i + 1)^N}{(1 + i)^N - 1}$

TR = tax rate (%)

i = interest rate (%)

- Cargo claim
- Cargo handling = (Payload x Biaya bongkar muat)

$$\begin{aligned} \text{Cargo handling} &= f(\text{Payload}) \\ &= f(L, H) \end{aligned}$$

2. Tugboat

- Fixed cost terdiri dari *capital cost, insurance cost, maintenance & repair cost, crew cost, administration cost.*

$$\text{FC}_{\text{tugboat}} = f(\text{capital cost, insurance cost, maintenance \& repair cost, administration cost, crew cost})$$

- Capital cost = ACCR (Annual Capital Cost Recovery)

$$= \frac{(CR - TR / N)}{(1,0 - TR)} \times \text{Investasi awal}$$

dimana :

$$\text{CR} = \text{Capital recovery factor} = \frac{i(i+1)^N}{(1+i)^N - 1}$$

$$\text{TR} = \text{tax rate} \quad (\%)$$

$$i = \text{interest rate} \quad (\%)$$

$$N = \text{lama investasi} \quad (\text{tahun})$$

$$\text{Investasi awal} = \text{Building price} \quad (\$1250 / \text{BHP})^*$$

* Market Price untuk pembangunan tugboat PT Dok dan Perkapalan Surabaya, September 1999

$$4.035 \leq \frac{X1}{X2} \leq 7.822$$

$$1.192 \leq \frac{X4}{X3} \leq 1.538$$

2. Sarat maksimum *integrated tug-barge*

Adanya kendala geografis terutama kedalaman alur sungai menyebabkan kapal dengan sarat tertentu yang dapat melayari perairan ini, sehingga dari keadaan ini memberikan kondisi batas bahwa sarat tongkang tidak boleh melebihi kedalaman minimum alur sungai. Secara matematis dapat ditulis :

$$T_{integrated} \leq \min T_{max}$$

dimana :

$$T_{max} = \text{kedalaman alur sungai Barito} = 4.8 \text{ m}$$

sehingga

$$T_{integrated} \leq 4.8$$

$$X3 \leq 4.8$$

3. Panjang dermaga

Panjang dermaga perlu dipertimbangkan sebagai batasan dalam kaitannya dengan kelancaran proses bongkar muat barang. Secara matematis fungsi kendala untuk panjang dermaga :

$$L_{integrated} \leq \min L_{berth}$$

4. *Contract of Affreightment (COA)*

adalah perjanjian antara kedua belah pihak dalam hal pengiriman barang yang merupakan fungsi waktu dan *quantity*. Jumlah batubara yang harus dipenuhi ton dalam waktu 1 bulan untuk kebutuhan pihak PowerGen adalah sebesar 100.000.

Secara matematis :

$$Rtpa \times Payload \geq Q_{demand}$$

dimana :

$$Q_{demand} = 100.000$$

sehingga :

$$Rtpa \times Payload \geq 100.000$$

5. Non negative constraint

Fungsi kendala ini merupakan salah satu kondisi batas yang akan memberikan alternatif solusi untuk penyelesaian yang *feasible* dari bermacam-macam kemungkinan yang ada dengan besar variabel tidak lebih kecil dari 0, atau secara matematis :

$$Xi \geq 0 \qquad i = 1,2,6$$

d. Parameter

Parameter yang digunakan pada proses optimisasi ini terdiri dari tiga bagian utama, yaitu :

a. Parameter kondisi ekonomi makro

Investasi dari sistem tongkang-kapal tunda dipengaruhi oleh kondisi ekonomi makro, antara lain tingkat suku bunga, pajak, kurs mata uang.

b. Parameter Tongkang-Kapal Tunda

Parameter ini terdiri dari data yang dibutuhkan dalam perhitungan biaya alat angkut. Beberapa parameter tersebut antara lain harga tongkang, harga kapal tunda, biaya-biaya kepelabuhanan (biaya pandu, biaya tunda, biaya labuh, biaya tambat serta *cargo handling*), jumlah *crew*, gaji awak kapal, spesifikasi mesin, *provision*.

c. Parameter kondisi transportasi

Meliputi data yang berhubungan langsung atau tidak langsung dengan kondisi operasional sistem, parameter tersebut adalah jarak pelayaran, hari operasi / tahun, kecepatan B/M,

BAB V

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan model yang telah dibuat pada bab sebelumnya dan hasil masukan data, selanjutnya dilakukan perhitungan penentuan variabel desain (*design variable*) yang optimal dari 5 alternatif pola operasi tongkang-kapal tunda (lih. **Gambar 4.1**). Dengan menggunakan bantuan *add-inns program* Microsoft Excel Solver, hasil perhitungan pemodelan optimisasi *design variable* ditampilkan pada lampiran. Tampak pada hasil optimisasi dari kelima alternatif pergerakan tongkang-kapal tunda tersebut, **alternatif 1, 2 dan 3 tidak dapat memenuhi *feasible condition* untuk beberapa *initial design variable* yang dicobakan** (lih. **Lampiran 1**). Sehingga hanya alternatif 4 dan 5 yang dapat memenuhi setiap kendala (*constraints*) akan dibahas pada bab ini.

Pada pembahasan ini hasil-hasil perhitungan ditabulasikan untuk memudahkan pembacaan. Sedangkan hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

5.1 PERGERAKAN TONGKANG-KAPAL TUNDA ALTERNATIF 4.

5.1.1 Analisis Hasil Optimisasi Initial Value

Untuk menentukan variabel desain yang optimal, dicobakan beberapa *initial value* (harga awal) yang memenuhi *constraint* yang ada. Dari hasil *running* proses

optimisasi (lih. **Lampiran 1**) didapatkan harga optimal dari masing-masing variabel. Tampak terdapat perubahan variabel $X1, X2, ..., X6$ yang menyebabkan perbedaan pada fungsi obyektif hasil optimisasi (lih. **Tabel 5.1**).

Tabel 5.1 Hasil Optimisasi terhadap Initial Value untuk Alternatif 4

X_i	Variabel Desain (X_i)	Variabel Desain (X_i^*)	δ (%)
1	112,000	109,509	2,22
2	26,000	25,947	0,2
3	4,500	4,389	0,2
4	6,800	6,750	0,74
5	26,000	25,703	1,14
6	8,100	8,014	1,06
$f(X)$	5.394.864.118,9	5.210.492.406,3	3,47

Keterangan :

- X_i = Variabel desain sebelum proses optimisasi
- X^*_i = Variabel desain setelah proses optimisasi
- $f(X)$ = Fungsi Obyektif
- δ = Perubahan harga (%)

Dari laporan (*report*) yang dihasilkan oleh Solver, didapatkan :

□ *Limits report*

Fungsi obyektif minimum menghasilkan nilai 5.210.492.406,5 dengan variabel desain $X1, X2, ..., X6$ masing-masing bernilai {109.509, 25.947, 4.389, 6.750, 25.703, 8.014}.

Untuk batas bawah masing-masing variabel yang masih memenuhi (dengan asumsi variabel yang lain tidak berubah) tampak pada kolom *lower limit* sedangkan kolom *target limit* menunjukkan nilai fungsi obyektif yang

dihasilkan untuk perubahan variabel tersebut. *Upper limits* merupakan batas maksimum perubahan nilai variabel yang masih memenuhi kendala.

Dari *report* ini terlihat bahwa variabel X_1 yang merupakan panjang *barge* tidak memiliki toleransi *lower* dan *upper limits*, demikian juga dengan variabel X_4 (Tinggi, H *barge*). Hal ini berarti bahwa setiap perubahan pada X_1 dan X_4 akan menyebabkan *constraints* terlanggar (dengan asumsi bahwa variabel lain tidak berubah/tetap).

□ Answer Report

- Fungsi obyektif untuk nilai awal (*original value*) sebesar 5.394.864.118,9 sedangkan fungsi obyektif hasil optimisasi (*final value*) didapatkan 5.210.492.406,5
- Untuk variabel desain ditunjukkan oleh *adjustable cells* dengan *original value*/nilai awal {112.00, 26.00, 4.5, 6.80, 26.00, 8.100} dan *final value*/nilai akhir {109.509, 25.947, 4.389, 6.750, 25.703, 8.014}.
- *Constraints*/batasan $g(x)_1, g(x)_2, \dots, g(x)_{11}, g(x)_{13}$ pada status *not binding* yang berarti bahwa variabel-variabel yang dihasilkan tidak pada batas maksimum atau minimum *constraints*. Sedangkan untuk $g(x)_{12}$ dan $g(x)_{14}$ pada status *binding* dengan *slack* variabel 0. Hal ini menunjukkan bahwa *barge* memiliki ratio ukuran H/T yang maksimum sesuai dengan batasan $g(x)_{12}$. Untuk $g(x)_{14}$ memiliki arti bahwa sisi penawaran dan permintaan dapat terpenuhi sehingga tidak terjadi *over supply*, dimana $Q_{supply}=Q_{demand}$.

□ Sensitivity Report

Pada kolom Reduced Gradient semua variabel bernilai 0. Hal ini menunjukkan bahwa fungsi obyektif sudah mencapai nilai optimal dengan variabel-variabel tersebut, sehingga proses optimisasi dapat dihentikan.

5.1.2 Analisis Sensitifitas

Analisis sensitifitas (*sensitify analysis*) disebut juga dengan *post-optimal analysis* adalah suatu analisis kesensitifan model terhadap perubahan baik berupa perubahan *design variable* ataupun perubahan parameter. Analisis sensitifitas ini dapat dijadikan pedoman pada tahapan perencanaan selanjutnya saat melakukan perubahan variabel.

Untuk perubahan *design variable* dicobakan beberapa harga yang diperoleh dari hasil *running initial value* pada sub-bab sebelumnya. Dimana satu variabel dirubah sementara variabel yang lain dibuat tetap/dikontrol. Hasil perubahan design variabel ini dapat dilihat pada Tabel 5.2 sampai Tabel 5.7.

Dari tabel 5.2 sampai tabel 5.7 dibuat plot normal perubahan initial value terhadap objective function.

Tampak dari plot normal (lih. **Grafik 5.1**) :

- Perubahan variabel X1 (panjang barge) sangat berpengaruh terhadap nilai *objective function* (sensitif). Terlihat pada gambar adanya pergerakan yang tidak stabil/fluktuatif dari garis X1
- Variabel X2 (lebar barge) pada grafik sangat fluktuatif sehingga perubahan X2 dapat mempengaruhi *objective function*.

5.2 Variabel L diubah; B, H, T, Ltug dan Vs konstan

i %	Sebelum Dioptimisasi		Setelah dioptimisasi	
	Variabel	Fungsi Obyektif	Variabel	Fungsi Obyektif
0%	93.082	4,442,213,601.30	109.503	5,210,228,565.28
5%	95.820	4,568,897,553.22	109.502	5,210,204,914.14
0%	98.558	4,696,131,739.12	109.498	5,210,005,675.57
0%	101.295	4,823,912,306.10	109.503	5,210,216,466.36
0%	104.033	4,952,235,300.69	109.508	5,210,460,671.15
0%	109.509	5,210,492,406.48	109.509	5,210,492,406.48
0%	114.984	5,257,160,229.63	109.508	5,210,460,821.68
0%	117.722	5,383,942,988.49	109.509	5,210,495,728.88
0%	120.459	5,511,235,961.78	109.502	5,210,188,859.02
5%	123.197	5,639,034,778.75	130.188	
0%	125.935	5,767,335,108.60	130.188	
Minimum				5,210,005,675.57

5.3 Variabel B diubah; L, H, T, Ltug dan Vs konstan

i %	Sebelum Dioptimisasi		Setelah dioptimisasi	
	Variabel	Fungsi Obyektif	Variabel	Fungsi Obyektif
0%	22.055	4,890,836,658.99	25.945	5,210,370,202.71
5%	22.704	4,946,261,584.35	25.946	5,210,417,777.37
0%	23.352	5,000,776,346.39	23.352	5,210,484,074.04
5%	24.001	5,054,420,887.15	25.945	5,210,360,374.24
0%	24.650	5,107,232,366.32	25.947	5,210,464,111.34
0%	25.947	5,210,492,406.48	25.947	5,210,492,406.48
0%	27.244	5,101,891,165.47	25.943	5,210,211,986.51
0%	27.893	5,149,268,818.71	25.943	5,210,164,104.71
0%	28.542	5,196,014,804.45	25.944	5,210,278,330.24
5%	29.190	5,242,151,791.81	25.947	5,210,473,646.84
0%	29.839	5,287,701,151.42	25.940	5,209,955,227.60
Minimum				5,209,955,227.60

5.4 Variabel H diubah; L, B, T, Ltug dan Vs konstan

i %	Sebelum Dioptimisasi		Setelah dioptimisasi	
	Variabel	Fungsi Obyektif	Variabel	Fungsi Obyektif
0%	5.738	4,761,468,282.36	6.750	5,210,502,950.18
5%	5.907	4,837,097,055.84	6.751	5,210,610,216.72
0%	6.075	4,912,395,753.10	6.751	5,210,591,014.59
0%	6.244	4,987,374,951.73	6.750	5,210,528,560.71
0%	6.413	5,062,044,614.29	6.750	5,210,540,797.56
0%	6.750	5,210,492,406.48	6.750	5,210,492,406.48
0%	7.088	5,148,731,810.28	6.750	5,210,493,185.31
0%	7.257	5,220,130,800.74	6.750	5,210,343,129.54
0%	7.425	5,291,275,649.34	6.750	5,210,258,042.97
0%	7.594	5,362,173,021.34	6.750	5,210,255,705.93
0%	7.763	5,432,829,263.27	8.754	
Minimum				5,210,255,705.93

Tabel 5.5 Variabel T diubah; L, B, H, L tug dan Vs konstan

X3 + i %	Sebelum Dioptimisasi		Setelah dioptimisasi	
	Variabel	Fungsi Obyektif	Variabel	Fungsi Obyektif
-15.0%	3.731	5,127,969,990.21	4.389	5,210,492,396.28
-12.5%	3.840	5,142,377,344.98	4.389	5,210,492,396.28
-10.0%	3.950	5,156,507,008.98	4.389	5,210,492,396.28
-7.5%	4.060	5,170,371,830.70	4.389	5,210,492,396.28
-5.0%	4.170	5,183,983,735.85	4.389	5,210,492,396.28
0.0%	4.389	5,210,492,406.48	4.389	5,210,492,406.48
5.0%	4.608	5,236,113,086.25	4.389	5,210,466,343.60
7.5%	4.718	5,248,612,649.02	4.389	5,210,492,396.28
10.0%	4.828	5,260,915,772.18	4.389	5,210,492,396.28
12.5%	4.938	5,273,029,904.41	4.389	5,210,492,396.28
15.0%	5.047	5,284,962,053.79	4.389	5,210,492,396.28
Minimum				5,210,466,343.60

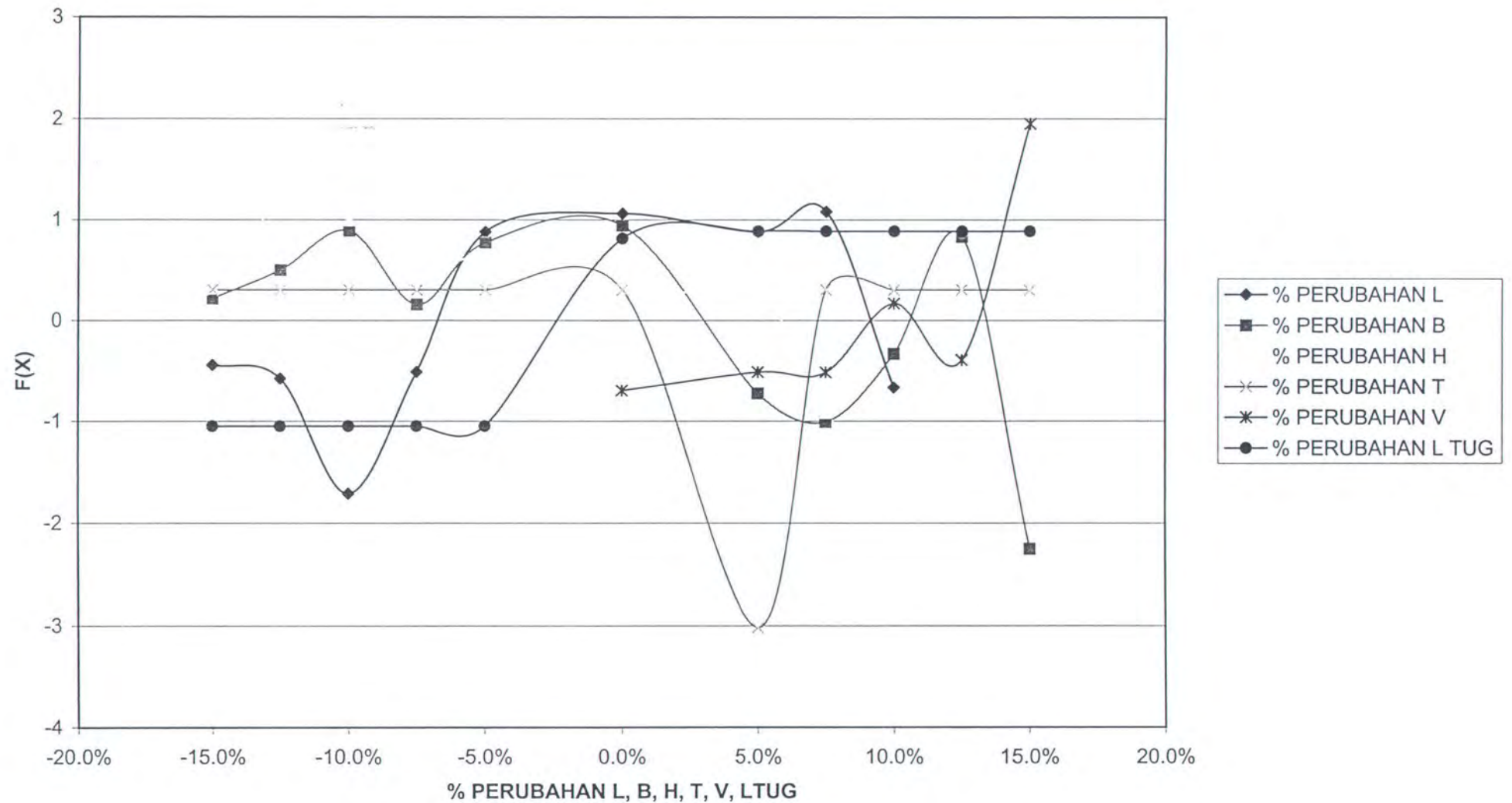
Tabel 5.6 Variabel V diubah; L, B, H, T dan L tug konstan

X3 + i %	Sebelum Dioptimisasi		Setelah dioptimisasi	
	Variabel	Fungsi Obyektif	Variabel	Fungsi Obyektif
-15.0%	6.812	4,678,245,847.91	6.812	
-12.5%	7.013	4,730,557,413.35	7.013	
-10.0%	7.213	4,782,428,096.83	7.213	
-7.5%	7.413	4,836,670,289.34	7.413	
-5.0%	7.614	4,891,872,461.05	7.614	
0.0%	8.014	5,210,492,406.48	8.014	5,210,475,498.74
5.0%	8.415	5,332,781,158.45	8.014	5,210,483,838.16
7.5%	8.616	5,395,336,742.95	8.014	5,210,483,708.31
10.0%	8.816	5,458,829,284.82	8.015	5,210,514,544.16
12.5%	9.016	5,523,255,961.00	8.014	5,210,489,275.30
15.0%	9.217	5,588,613,997.47	8.015	5,210,595,337.68
Minimum				5,210,475,498.74

Tabel 5.7 Variabel L tug diubah; L, B, H, T dan Vs konstan

X3 + i %	Sebelum Dioptimisasi		Setelah dioptimisasi	
	Variabel	Fungsi Obyektif	Variabel	Fungsi Obyektif
-15.0%	21.848	5,210,492,470.77	25.693	5,210,490,407.48
-12.5%	22.490	5,210,492,460.05	25.693	5,210,490,407.48
-10.0%	23.133	5,210,492,449.34	25.693	5,210,490,407.48
-7.5%	23.775	5,210,492,438.62	25.693	5,210,490,407.48
-5.0%	24.418	5,210,492,427.91	25.693	5,210,490,407.48
0.0%	25.703	5,210,492,406.48	25.703	5,210,492,407.48
5.0%	26.988	5,210,492,385.05	25.704	5,210,492,485.05
7.5%	27.631	5,210,492,374.33	25.704	5,210,492,485.05
10.0%	28.273	5,210,492,363.62	25.704	5,210,492,485.05
12.5%	28.916	5,210,492,352.90	25.704	5,210,492,485.05
15.0%	29.558	5,210,492,342.19	25.704	5,210,492,485.05
Minimum				5,210,490,407.48

GRAFIK SENSITIFITAS THD PERUBAHAN VARIABEL, 3 BARGE & 2 TUGBOAT (NORMAL)



- Variabel X6 (kecepatan dinas) cukup memiliki pengaruh pada fungsi obyektif, demikian juga dengan variabel X3 (tinggi kapal).
- Variabel-variabel yang lain (X4 dan X5) cenderung tidak memiliki pengaruh yang besar pada fungsi obyektif.

Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Variabel X1 dan X2 merupakan karakteristik teknis tongkang yang langsung berhubungan dengan komponen biaya tetap, dimana $\pm 58 \%$ dari komponen biaya total, merupakan biaya tetap yang dikeluarkan oleh tongkang. Sementara itu X1 dan X2 juga berpengaruh pada biaya tidak tetap (biaya-biaya pelabuhan). Sehingga perubahan X1 dan X2 memiliki kontribusi yang besar pada model.
- Variabel X6 (kecepatan dinas) langsung berhubungan dengan *fix cost tuboat* yang memiliki prosentase $\pm 20 \%$ dari total biaya. Hal ini menyebabkan X6 memiliki kontribusi yang cukup besar pada model walaupun tidak sebesar X1 dan X2..
- Variabel X4 (sarat tongkang) dan X5 (panjang tugboat) tidak berhubungan langsung dengan *objective function*.

*

Dari analisis sensitifitas tersebut dapat terlihat bahwa ***variabel X1, X2 dan X6 merupakan variabel yang harus diperhatikan*** oleh pihak perencana pada perencanaan tahap selanjutnya.

5.1.3 Pemilihan Nilai Optimum

Dari 66 initial value yang telah di-*running* (Tabel 5.2 s/d Tabel 5.7) didapatkan harga *objective function* (*minimum cost*) untuk menghasilkan penyelesaian yang optimal. Penyelesaian yang optimal diperoleh dengan memilih nilai yang paling minimum dari tabel-tabel tersebut.

Tabel	Fungsi Obyektif f(X)
Tabel 5.2	5.210.005.675,57
Tabel 5.3	5.209.955.227,60
Tabel 5.4	5.210.255.705,93
Tabel 5.5	5.210.466.343,60
Tabel 5.6	5.210.475.498,74
Tabel 5.7	5.210.490.407,48

Tampak bahwa pada Tabel 5.3 terdapat penyelesaian yang optimum dengan variabel-variabel :

Panjang barge (X1)	=	109,509	m
Lebar barge (X2)	=	25,940	m
Sarat barge(X3)	=	4,389	m
Tinggi barge (X4)	=	6,750	m
Panjang tugboat (X5)	=	25,703	m
Kecepatan dinas (X6)	=	8,014	m
Objective function f*(X)	=	5.209.955.227,6	Rp.

5.2 PERGERAKAN TONGKANG-KAPAL TUNDA ALTERNATIF 5.

5.2.1 Analisis Hasil Optimisasi Initial Value

Untuk menentukan variabel desain yang optimal, dicobakan beberapa *initial value* (harga awal) yang memenuhi *constraint* yang ada. Dari hasil *running* proses

optimisasi (lih. Lampiran ...) didapatkan harga optimal dari masing-masing variabel. Tampak terdapat perubahan variabel $X1, X2, \dots, X6$ yang menyebabkan perbedaan pada fungsi obyektif hasil optimisasi (lih. **Tabel 5.8**).

Tabel 5.8 Hasil Optimisasi terhadap Initial Value untuk Alternatif 5

X_i	Variabel Desain (X_i)	Variabel Desain (X_i^*)	δ (%)
1	106,000	105,250	0,71
2	21,000	20,962	0,18
3	4,300	4,229	1.65
4	6,500	6,504	-0,06
5	26,000	25,703	1,14
6	8,600	8,222	4,4
$f(X)$	5.724.893.832,4	5.564.087.750,6	2,81

Keterangan :

- X_i = Variabel desain sebelum proses optimisasi
- X^*i = Variabel desain setelah proses optimisasi
- $f(X)$ = Fungsi Obyektif
- δ = Perubahan harga (%)

Dari beberapa report yang dihasilkan oleh Solver, didapatkan :

□ Limits report

Fungsi obyektif minimum menghasilkan nilai 5.564.087.750,6 dengan variabel desain $X1, X2, \dots, X6$ masing-masing bernilai {105.250, 20.962, 4.229, 6.504, 25.703, 8.222}.

Untuk batas bawah masing-masing variabel yang masih memenuhi *constraints* (variabel yang lain tidak berubah) tampak pada kolom *lower limit*, sedangkan kolom *target limit* menunjukkan nilai fungsi obyektif yang dihasilkan untuk

perubahan variabel tersebut. *Upper limits* merupakan batas maksimum perubahan nilai variabel yang masih memenuhi kendala.

Dari *report* ini terlihat bahwa masing-masing variabel masih memiliki batas minimum dan maksimum. Sehingga jika tiap-tiap variabel diubah (masih dalam range) akan didapatkan fungsi obyektif tanpa melanggar *constraint* (dengan asumsi bahwa variabel lain tidak berubah).

□ Answer Report

- Fungsi obyektif untuk nilai awal (*original value*) sebesar 5.724.893.832,4 sedangkan fungsi obyektif hasil optimisasi (*final value*) didapatkan 5.564.087.750,6
- Untuk variabel desain ditunjukkan oleh *adjustable cells* dengan *original value*/ nilai awal { 106.00, 21.00, 4.30, 6.50, 26.00, 8.600 } dan *final value*/nilai akhir {105.250, 20.962, 4.224, 6.504, 25.703, 8.222}.
- *Constraints*/batasan $g(x)_1$, $g(x)_2$, ... $g(x)_{11}$, $g(x)_{13}$ pada status *not binding* yang berarti bahwa variabel-variabel yang dihasilkan tidak pada batas maksimum atau minimum *constraints*. Sedangkan untuk $g(x)_{12}$ dan $g(x)_{14}$ pada status *binding* dengan *slack* variabel 0. Hal ini menunjukkan bahwa *barge* memiliki ratio ukuran H/T yang maksimum sesuai dengan batasan $g(x)_{12}$. Untuk $g(x)_{14}$ memiliki arti bahwa sisi penawaran dan permintaan dapat terpenuhi sehingga tidak terjadi *over supply*, dimana $Q_{supply}=Q_{demand}$.

□ Sensitivity Report

Pada kolom Reduced Gradient semua variabel bernilai 0. Hal ini menunjukkan bahwa fungsi obyektif sudah mencapai nilai optimal dengan variabel-variabel tersebut, sehingga proses optimisasi dapat dihentikan.

5.2.2 Analisis Sensitifitas

Analisis sensitifitas (*sensitify analysis*) disebut juga dengan *post-optimal analysis* adalah suatu analisis kesensitifan model terhadap perubahan baik berupa perubahan *design variable* ataupun perubahan parameter. Analisis sensitifitas ini dapat dijadikan pedoman pada tahapan perencanaan selanjutnya saat melakukan perubahan variabel.

Untuk perubahan *design variable* dicobakan beberapa harga yang diperoleh dari hasil *running initial value* pada sub-bab sebelumnya. Dimana satu variabel dirubah sementara variabel yang lain dibuat tetap/dikontrol. Hasil perubahan *design variabel* ini dapat dilihat pada Tabel 5.8 sampai Tabel 5.13

Dari tabel 5.8 sampai tabel 5.13 dibuat plot normal perubahan *initial value* terhadap *objective function*.

Tampak dari plot normal (lih. Grafik 5.1) :

- Perubahan variabel X1 (panjang barge) sangat berpengaruh terhadap nilai *objective function* (sensitif). Terlihat pada gambar adanya pergerakan yang fluktuatif / tidak stabil dari garis X1
- Variabel X2 (lebar barge) pada grafik sangat fluktuatif sehingga perubahan X2 dapat mempengaruhi *objective function*.

l 5.8 Variabel L diubah; B, H, T, Ltug dan Vs konstan

+ i %	Sebelum Dioptimisasi		Setelah dioptimisasi	
	Variabel	Fungsi Obyektif	Variabel	Fungsi Obyektif
5.0%	89.462	4,735,696,848.36	105.240	5,563,587,339.81
2.5%	92.094	4,872,271,196.30	105.249	5,564,041,099.71
0.0%	94.725	5,009,448,750.29	105.249	5,564,063,212.56
.5%	97.356	5,147,224,372.80	105.250	5,564,089,918.78
.0%	99.987	5,285,592,882.76	105.250	5,564,092,005.29
.0%	105.250	5,564,087,750.64	105.250	5,564,087,750.64
.0%	110.512	5,844,891,777.54	105.250	5,564,086,982.83
.5%	113.144	5,986,146,823.57	105.250	5,564,088,888.22
.0%	115.775	6,127,963,751.31	105.249	5,564,067,088.79
.5%	118.406	6,270,337,515.49	105.241	5,563,643,414.55
.0%	121.037	6,413,263,125.56	105.248	5,563,965,994.04
Minimum				5,563,587,339.81

l 5.9 Variabel B diubah; L, H, T, Ltug dan Vs konstan

+ i %	Sebelum Dioptimisasi		Setelah dioptimisasi	
	Variabel	Fungsi Obyektif	Variabel	Fungsi Obyektif
5.0%	17.817	5,221,373,056.32	20.962	5,564,088,843.44
2.5%	18.342	5,280,799,078.76	20.962	5,564,164,875.61
0.0%	18.866	5,339,248,093.45	20.962	5,564,074,845.65
.5%	19.390	5,396,762,938.22	20.962	5,564,089,515.09
.0%	19.914	5,453,383,468.93	20.962	5,564,088,198.62
.0%	20.962	5,564,087,750.64	20.962	5,564,087,750.64
.0%	22.010	5,671,630,011.81	20.962	5,564,164,875.61
.5%	22.534	5,724,290,344.64	20.962	5,564,076,767.18
.0%	23.058	5,776,246,511.28	20.962	5,564,079,073.88
.5%	23.582	5,827,523,785.55	20.961	5,564,044,252.45
.0%	24.106	5,878,145,993.65	20.961	5,563,964,695.14
Minimum				5,563,964,695.14

l 5.10 Variabel H diubah; L, B, T, Ltug dan Vs konstan

+ i %	Sebelum Dioptimisasi		Setelah dioptimisasi	
	Variabel	Fungsi Obyektif	Variabel	Fungsi Obyektif
5.0%	5.528	5,074,020,961.57	6.504	5,564,454,465.82
2.5%	5.691	5,156,564,399.60	6.504	5,564,448,690.65
0.0%	5.853	5,238,746,809.64	6.504	5,564,195,297.65
.5%	6.016	5,320,579,758.74	6.504	5,564,127,137.29
.0%	6.178	5,402,074,141.35	6.504	5,564,140,491.94
0%	6.504	5,564,087,750.64	6.504	5,564,087,750.64
0%	6.829	5,724,863,318.01	6.503	5,563,958,608.71
5%	6.991	5,804,808,335.96	6.503	5,564,009,929.84
.0%	7.154	5,884,468,776.79	6.503	5,563,872,416.59
.5%	7.317	5,963,852,103.42	6.503	5,563,988,870.05
.0%	7.479	6,042,965,421.90	6.503	5,563,936,228.62
Minimum				5,563,872,416.59

bel 5.11 Variabel T diubah; L, B, H, Ltug dan Vs konstan

3 + i %	Sebelum Dioptimisasi		Setelah dioptimisasi	
	Variabel	Fungsi Obyektif	Variabel	Fungsi Obyektif
5.0%	3.594	5,481,511,803.25	4.229	5,564,087,751.94
2.5%	3.700	5,495,928,503.87	4.229	5,564,087,751.94
0.0%	3.806	5,510,067,333.58	4.229	5,564,087,751.94
7.5%	3.911	5,523,941,149.21	4.229	5,564,087,751.94
5.0%	4.017	5,537,561,884.22	4.229	5,564,087,751.94
0.0%	4.229	5,564,087,750.64	4.229	5,564,087,750.64
5.0%	4.440	5,589,725,050.18	4.229	5,564,087,751.94
7.5%	4.546	5,602,232,721.24	4.229	5,564,087,751.94
0.0%	4.652	5,614,543,825.27	4.229	5,564,087,751.94
2.5%	4.757	5,626,665,815.76	4.229	5,564,087,751.94
5.0%	4.863	5,638,605,705.36	4.229	5,564,087,751.94
Minimum				5,564,087,750.64

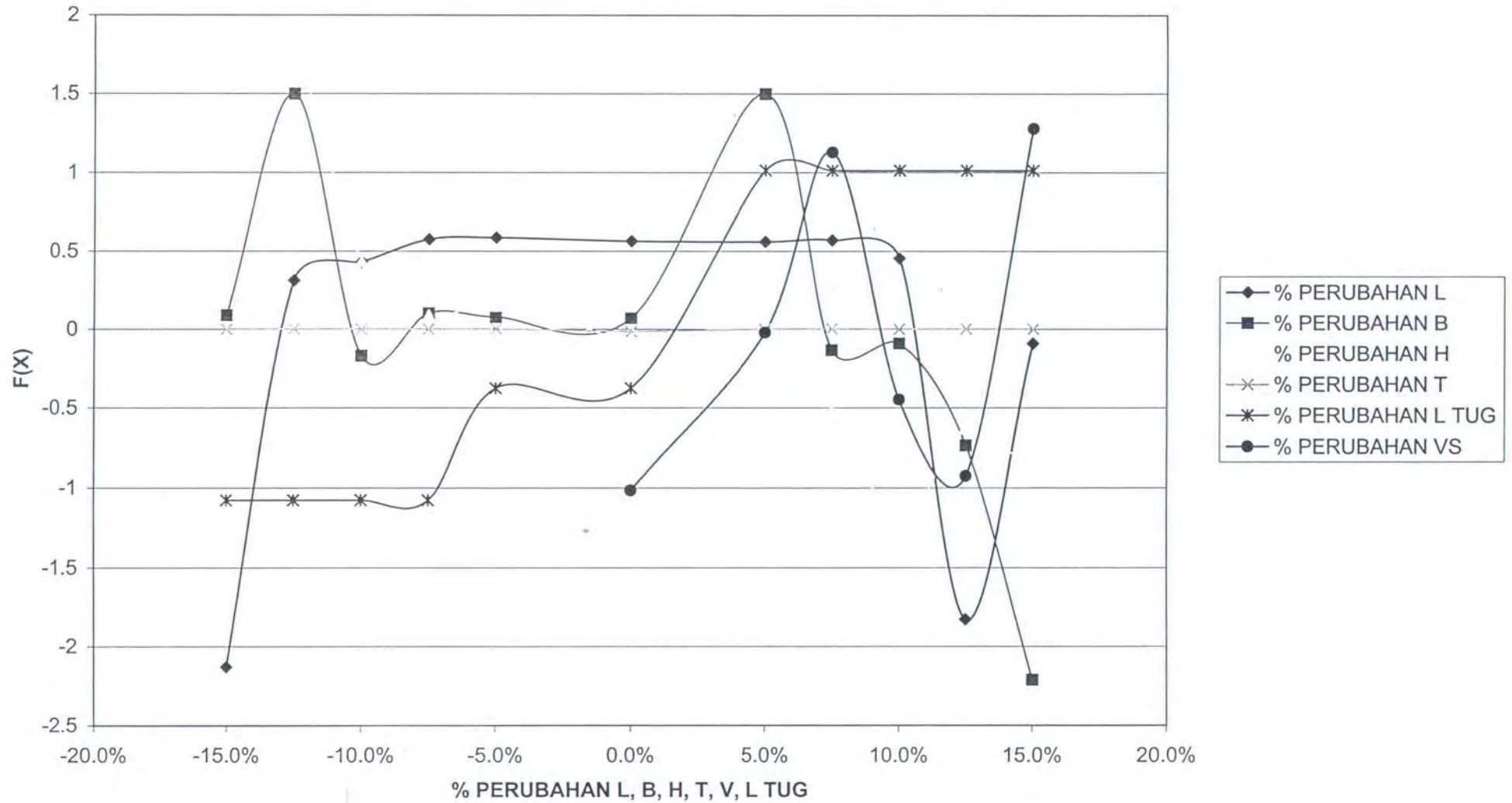
bel 5.12 Variabel L tug diubah; L, B, H, T dan Vs konstan

3 + i %	Sebelum Dioptimisasi		Setelah dioptimisasi	
	Variabel	Fungsi Obyektif	Variabel	Fungsi Obyektif
5.0%	21.848	5,564,087,811.96	26.803	5,564,086,750.64
2.5%	22.490	5,564,087,801.74	26.813	5,564,086,750.64
0.0%	23.133	5,564,087,791.52	26.813	5,564,086,750.64
7.5%	23.775	5,564,087,781.30	26.813	5,564,086,750.64
5.0%	24.418	5,564,087,771.08	26.813	5,564,087,750.64
0.0%	25.703	5,564,087,750.64	26.813	5,564,087,750.64
5.0%	26.988	5,564,087,730.20	26.813	5,564,089,730.20
7.5%	27.631	5,564,087,719.98	26.816	5,564,089,730.20
0.0%	28.273	5,564,087,709.76	26.816	5,564,089,730.20
2.5%	28.916	5,564,087,699.54	26.816	5,564,089,730.20
5.0%	29.558	5,564,087,689.32	26.816	5,564,089,730.20
Minimum				5,564,086,750.64

bel 5.13 Variabel Vs diubah; L, B, H, T dan Ltug konstan

3 + i %	Sebelum Dioptimisasi		Setelah dioptimisasi	
	Variabel	Fungsi Obyektif	Variabel	Fungsi Obyektif
5.0%	6.989	5,065,530,746.27	6.989	
2.5%	7.194	5,116,918,774.01	7.194	
0.0%	7.400	5,169,205,303.58	7.400	
7.5%	7.606	5,220,627,289.86	7.606	
5.0%	7.811	5,274,701,742.61	7.811	
0.0%	8.222	5,564,087,750.64	8.222	5,564,087,750.64
5.0%	8.633	5,682,812,232.30	8.222	5,564,101,324.27
7.5%	8.839	5,743,480,416.34	8.222	5,564,117,060.14
0.0%	9.044	5,805,015,960.92	8.222	5,564,095,515.97
2.5%	9.250	5,867,416,459.04	8.222	5,564,089,001.71
5.0%	9.456	5,930,679,538.64	8.222	5,564,119,132.68
Minimum				5,564,087,750.64

GRAFIK SENSITIFITAS THD PERUBAHAN VARIABEL, 4 BARGE & 2 TUGBOAT (NORMAL)



- Variabel X6 (kecepatan dinas) cukup memiliki pengaruh pada fungsi obyektif, demikian juga dengan variabel X3 (tinggi kapal).
- Variabel-variabel yang lain (X4 dan X5) cenderung tidak memiliki pengaruh yang besar pada fungsi obyektif.

Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Variabel X1 dan X2 merupakan karakteristik teknis tongkang yang langsung berhubungan dengan komponen biaya tetap, dimana $\pm 60\%$ dari komponen biaya total, merupakan biaya tetap yang dikeluarkan oleh tongkang. Sementara itu X1 dan X2 juga berpengaruh pada biaya tidak tetap (biaya-biaya pelabuhan). Sehingga perubahan X1 dan X2 memiliki kontribusi yang besar pada model.
- Variabel X6 (kecepatan dinas) langsung berhubungan dengan *fix cost tuboat* yang memiliki prosentase $\pm 21\%$ dari total biaya. Hal ini menyebabkan X6 memiliki kontribusi yang cukup besar pada model walaupun tidak sebesar X1 dan X2..
- Variabel X4 (sarat tongkang) dan X5 (panjang tugboat) tidak berhubungan langsung dengan objective function.

Dari analisis sensitifitas tersebut dapat terlihat bahwa *variabel X1, X2 dan X6 merupakan variabel yang harus diperhatikan* oleh pihak perencana pada perencanaan tahap selanjutnya.



5.2.3 Pemilihan Nilai Optimum

Dari 66 initial value yang telah di-*running* (Tabel 5.2 s/d Tabel 5.7) didapatkan harga *objective function* (*minimum cost*) untuk menghasilkan penyelesaian yang optimal. Penyelesaian yang optimal diperoleh dengan memilih nilai yang paling minimum dari tabel-tabel tersebut.

Tabel	Fungsi Obyektif $f(X)$
Tabel 5.8	5.563.587.339,81
Tabel 5.9	5.563.964.695,14
Tabel 5.10	5.563.872.416,59
Tabel 5.11	5.564.087.750,64
Tabel 5.12	5.564.086.750,64
Tabel 5.13	5.564.086.750,64

Tampak bahwa pada Tabel 5.8 terdapat penyelesaian yang optimum dengan variabel-variabel :

Panjang barge (X_1)	=	105,250	m
Lebar barge (X_2)	=	20,962	m
Sarat barge(X_3)	=	4,229	m
Tinggi barge (X_4)	=	6,504	m
Panjang tugboat (X_5)	=	25,703	m
Kecepatan dinas (X_6)	=	8,222	m
Objective function $f^*(X)$	=	5.563.587.339,6	Rp.

BAB VI

KESIMPULAN dan SARAN

6.1 KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan pada bab sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan :

1. Untuk pergerakan tongkang alternatif 1 (1 tongkang dan 1 tugboat), alternatif 2 (2 tongkang dan 1 tugboat) serta alternatif 3 (3 tongkang dan 1 tugboat) tidak dapat menghasilkan *feasible solution*. Hal ini disebabkan karena alternatif-alternatif tersebut tidak dapat memenuhi batasan-batasan (*constraints*) untuk persoalan optimisasi pada Tugas Akhir ini.
2. Desain konsep angkutan batubara dengan menggunakan sistem tongkang-kapal tunda pada Tugas Akhir ini menghasilkan dua alternatif pola operasi yaitu alternatif 4 dan 5. Pemilihan desain konsep sistem tongkang-kapal tunda pada Tugas Akhir ini berdasarkan kriteria total biaya yang paling minimum dan memenuhi seluruh batasan teknis dan operasional yang telah ditetapkan. Dimana alternatif 4 menghasilkan total biaya yang paling minimum, bila dibandingkan dengan alternatif 5.
3. Berdasarkan analisis sensitivitas yang dilakukan pada model, terlihat bahwa desain konsep untuk sistem tongkang-kapal tunda pada Tugas Akhir ini memiliki 3 (tiga) buah variabel yang berperan besar pada perubahan nilai

fungsi obyektif, yaitu L (L_{barge}), B (B_{barge}), dan V_s . Sehingga perubahan yang kecil pada ketiga nilai variabel tersebut akan berpengaruh pada nilai fungsi obyektif (fungsi obyektif sensitif terhadap perubahan variabel L_{barge} , B_{barge} , dan V_s). Hasil analisis sensitifitas ini dapat memberikan “peringatan” bagi perencana pada tahapan perencanaan selanjutnya untuk “berhati-hati” pada ketiga variabel tersebut.

4. Model optimisasi pada desain konsep ini dapat memberikan pedoman bagi tahap perencanaan selanjutnya. Jika terjadi perubahan ukuran (variabel), maka harus diperiksa kembali apakah variabel hasil perubahan mampu memenuhi kriteria ekonomi (biaya) dan batasan sistem yang telah ditetapkan (teknis dan operasional).

6.2 SARAN

1. Perlunya dilakukan analisis sensitivitas terhadap perubahan parameter yang menyusun model sistem, sehingga dapat diketahui seberapa besar pengaruh perubahan parameter tersebut terhadap nilai fungsi obyektif pada desain sistem. Misalnya pengaruh kenaikan harga tarif pelabuhan, pengaruh waktu di pelabuhan, pengaruh fluktuasi mata uang asing (dolar).
2. Jika terjadi perubahan ukuran pada tahapan perencanaan selanjutnya (berdasarkan pertimbangan desain dan teknis, seperti aspek hidrodinamika, kekuatan, *sea-keeping* dan produksi) maka hasil desain konsep ini dapat memberikan salah satu pertimbangan variabel yang harus diperhatikan dalam proses perubahan tersebut.

3. Perlunya perhitungan lebih lanjut dari hasil optimisasi model, dengan menggunakan *software* (perangkat lunak) penyelesaian permasalahan optimisasi non linier yang lain. Hal ini bertujuan untuk menyelidiki apakah nilai yang dihasilkan pada proses optimisasi untuk Tugas Akhir ini adalah lokal atau global optimum.
4. Penggunaan optimisasi pada tahapan desain konsep pada Tugas Akhir ini, selanjutnya dapat diterapkan pada tahapan desain yang lain. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan suatu model perencanaan kapal secara terintegrasi yang dapat memberikan hasil optimal ditinjau dari beberapa aspek (kriteria) desain, misalnya aspek hidrodinamika.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, Tri, *Model Perancangan Kapal Peti Kemas untuk Sistem Transportasi Terpadu di Indonesia Menggunakan Pendekatan Optimisasi Bertujuan Jamak Tahap I*, Kantor Menteri Negara Riset dan Teknologi, Dewan Riset Nasional, Jakarta, 1998.
- Achmadi, Tri, *Studi Pengaruh Bobot Mati Kapal Terhadap Ukuran Utama Kapal*, Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 1993
- American Bureau of Shipping; *Steel Barges, Rules for Building and Classing*, New Jersey, 1991.
- Articouple, *Automatic Pusher Barge Coupler*, Taisei Engineering Consultants, Inc, 1992
- Aryawan, Wasis. D, *Optimisasi Penentuan Ukuran Utama Kapal Container*, Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 1988.
- BPS, *Kalimantan Selatan Dalam Angka 1997*, Badan Pusat Statistik, Banjarmasin, 1998
- Fletcher, Edwin, *Artubar- Articulated Tug/Barge Concept*, 1969.
- Frankel, E.G. ; *Integrated Tug-Barge Systems For Short Sea Shipping in Europe*, Conference Papers, Athena, 1994.
- Gaston, M.J, *Tugs Today, Modern Vessels & Towing Technique*, 1996
- Gulfcoast Transit, *A Diverse Fleet of Ocean-Going Vessels Capable of Handling a Variety of Dry Bulk Commodities*, Tampa, 1998
- Latorre, Robert, Ashcroft, Frederick, *Recent Developments in Barge Design, Towing and Pushing*, Marine Technology, Januari 1981
- Nowacki Horst, *Advance Methods of Ship Design*, Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 1985
- Panduan Lengkap SPSS 6.0 for Windows, Wahana Komputer, Semarang, 1997.

- Priyanto, Agoes, *River Transportation of Coal in Kalimantan*, Material for JSPS Group Discussion, Hiroshima, 1998
- Rao, Singiresu. S, *Engineering Optimization : Theory and Practice 3rd Edition*, John Wiley & Sons Inc, New York, 1996
- Saito, Kimio, Priyanto Agoes, *Present Coal Production and Transportation in Indonesia*, 1998
- Setijoprajudo, *Pengaruh Harga Bahan Bakar Minyak Terhadap Penyesuaian Kecepatan Dinas dengan RFR Kapal di Indonesia*, Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 1993.
- Sudjana, *Teknik Analisis Regresi dan Korelasi*, Tarsito, Bandung, 1992
- Taggart, J.E, *Ship Design and Construction*, 1969
- Wartsila Marine Locomotive; *The Advantages of Integrated Pusher-Barge Transportation*, Wartsila Marine Industries Inc., Helsinki 1986.
- Wijnolst, Niko, Wergeland, Tor, *Shipping*, Delf University Press, 1996
- Winston, Wayne. L, Albright, S. Christian, Broadie, Mark, *Practical Management Science: Spreadsheet Modeling and Applications*, Duxbury Press, California, 1997
- Wood, J.N, Calwell, A, *Screw Tug Design :2nd Editon*, 1969

Lampiran 1 :

Hasil Optimisasi Initial Value

Template for Integrated Tuq-Barge Conceptual Design Model

	Unit	Min	Value	Max
Constants				
Gravitational Constant	m/det^2		9.8	

Given Parameters

Investasi	Interest rate	%	20.0
	Lama investasi	tahun	20.0
Barge	Tax rate	%	16.0
	Kurs Dolar	Rp.	7,000.0
Barge	Harga barge / DWT	\$	700.0
	Biaya pandu per GRT Surabaya	Rp.	4,400.0
Barge	Biaya pandu per GRT Banjarmasin	Rp.	5,100.0
	tabel tunda per kapal per jam		
Barge	0 - 3500 GRT	Rp.	104,000.0
	3500 - 8000 GRT	Rp.	269,000.0
Barge	8000 - 14000 GRT	Rp.	429,000.0
	14000 - 18000 GRT	Rp.	575,000.0
Barge	18000 - 75000 GRT	Rp.	909,000.0
	75000 - GRT	Rp.	1,296,000.0
Barge	Biaya tambat per GRT per etmal	Rp.	32.0
	Biaya jasa labuh per GRT per 10 hari	Rp.	40.0
Barge	Cargo handling per ton		4,000.0
	Jumlah barge	Unit	3.0
Tugboat	Harga tugboat / BHP	\$	1,250.0
	% Harga connection dari harga tug	%	10.0
Tugboat	Biaya pandu 150 s.d 500 GRT (Surabaya)	Rp.	29,700.0
	Biaya pandu 150 s.d 500 GRT (Banjarmasin)	Rp.	30,600.0
Tugboat	Tabel tunda per kapal per jam		
	kapal tunda 2201 s.d 3500 HP	Rp.	168,000.0
Tugboat	kapal tunda 3501 s.d 5000 HP	Rp.	212,000.0
	Biaya tambat per GRT per etmal	Rp.	40.0
Tugboat	Biaya jasa labuh per GRT per 10 hari	Rp.	44.0
	Struktur gaji		
Tugboat	Gaji pokok per bulan per orang	Rp.	2,100,000.0
	Makan per hari per orang	Rp.	10,000.0
Tugboat	Asuransi per bulan per orang	Rp.	100,000.0
	Lembur per bulan per orang	Rp.	1,000,000.0
Tugboat	Jumlah crew	orang	13.0
	Spesifikasi Mesin		
Tugboat	MCR	HP	2,216.4
	Specific oil consumption	ton/HP*jam	0.000155
Tugboat	Faktor cadangan		1.3
	Harga bahan bakar	\$/ton	154.0
Tugboat	Harga minyak lumas	\$/ton	1,640.0
	Kebutuhan Air Tawar		
Tugboat	Konsumsi air tawar	ton/orang*hari	0.165
	harga air tawar	Rp/ton	7,000.0
Tugboat	Jumlah tug	Unit	2.0
Transport	Jarak Pelayaran	n.mil	370.0
	OD_eff / tahun	hari	300.0
Transport	Kapasitas transport per bulan	TON	100,000
	Kecepatan muat	TON/JAM	1,000.0
Transport	Kecepatan bongkar	TON/JAM	600.0
	Waktu tunggu rata-rata Paiton	Jam	1.0
Transport	Waktu tunggu rata-rata Banjarmasin	Jam	8.0
	Waktu persiapan B/M + T Bunker	Jam	2.0

Cost Calculation /Mounth

Barge	Fixed cost	Rp	1,055,993,382.1	
	Capital cost	Rp	927,567,057.7	87.8%
Barge	Insurance cost	Rp	42,938,090.9	4.1%
	Repair and Maintenance service	Rp	85,488,233.5	8.1%
Barge				100.0%
Barge	Variabel cost	Rp	217,598,869.1	
	Biaya pandu	Rp	1,578,591.3	0.7%
Barge	Biaya tunda	Rp	5,380,000.0	2.5%
	Biaya tambat	Rp	1,027,066.8	0.5%
Barge	Biaya labuh	Rp	2,228,613.2	1.0%
Barge	Cargo handling	Rp	207,384,597.8	95.3%
				100.0%
Tugboat	Fixed cost	Rp	583,501,086.5	
	Capital cost	Rp	477,854,408.1	81.9%
Tugboat	Insurance cost	Rp	20,109,456.2	3.4%
	Repair and maintenance service	Rp	40,037,222.2	6.9%
Tugboat	Crew cost	Rp	45,500,000.0	7.8%
				100.0%
Tugboat	Variabel cost	Rp	312,342,030.7	
	Fuel cost sea	Rp	219,915,799.3	70.4%
Tugboat	Fuel cost port	Rp	13,426,235.8	4.3%
	Lubricating cost sea	Rp	70,258,813.8	22.5%
Tugboat	Lubricating cost port	Rp	4,289,420.8	1.4%
	Fresh water cost	Rp	374,249.1	0.1%
Tugboat	Port charges	Rp	4,077,511.9	1.3%
				100.0%
Tugboat	-Biaya pandu	Rp	603,000.0	
	-Biaya tunda	Rp	3,360,000.0	
Tugboat	-Biaya tambat	Rp	30,632.1	
	-Biaya labuh	Rp	83,879.8	

Template for Integrated Tug-Barge Conceptual Design Model

	Unit	Min	Value	Max
Constants				
Gravitational Constant	m/det*2		9.8	

Given Parameters

Investasi	Interest rate	%	20.0
	Lama investasi	tahun	20.0
	Tax rate	%	16.0
	Kurs Dolar	Rp.	7,000.0
Barge	Harga barge / DWT	\$	700.0
	Biaya pandu per GRT Surabaya	Rp.	4,400.0
	Biaya pandu per GRT Banjarmasin	Rp.	5,100.0
	tabel tunda per kapal per jam		
	0 - 3500 GRT	Rp.	104,000.0
	3500 - 8000 GRT	Rp.	269,000.0
	8000 - 14000 GRT	Rp.	429,000.0
	14000 - 18000 GRT	Rp.	575,000.0
	18000 - 75000 GRT	Rp.	909,000.0
	75000 - GRT	Rp.	1,296,000.0
	Biaya tambat per GRT per etmal	Rp.	32.0
	Biaya jasa labuh per GRT per 10 hari	Rp.	40.0
	Cargo handling per ton		4,000.0
	Jumlah barge	Unit	3.0
Tugboat	Harga tugboat / BHP	\$	1,250.0
	% Harga connection dari harga tug	%	10.0
	Biaya pandu 150 s.d 500 GRT (Surabaya)	Rp.	29,700.0
	Biaya pandu 150 s.d 500 GRT (Banjarmasin)	Rp.	30,600.0
	Tabel tunda per kapal per jam		
	kapal tunda 2201 s.d 3500 HP	Rp.	168,000.0
	kapal tunda 3501 s.d 5000 HP	Rp.	212,000.0
	Biaya tambat per GRT per etmal	Rp.	40.0
	Biaya jasa labuh per GRT per 10 hari	Rp.	44.0
	Struktur gaji		
	Gaji pokok per bulan per orang	Rp.	2,100,000.0
	Makan per hari per orang	Rp.	10,000.0
	Asuransi per bulan per orang	Rp.	100,000.0
	Lembur per bulan per orang	Rp.	1,000,000.0
	Jumlah crew	orang	13.0
	Spesifikasi Mesin		
	MCR	HP	2,133.8
	Specific oil consumption	ton/HP*jam	0.000155
	Faktor cadangan		1.3
	Harga bahan bakar	\$/ton	154.0
	Harga minyak lumas	\$/ton	1,640.0
	Kebutuhan Air Tawar		
	Konsumsi air tawar	ton/orang*hari	0.165
	harga air tawar	Rp/ton	7,000.0
	Jumlah tug	Unit	2.0
Transport	Jarak Pelayaran	n.mil	370.0
	OD_eff / tahun	hari	300.0
	Kapasitas transport per bulan	TON	100,000
	Kecepatan muat	TON/JAM	1,000.0
	Kecepatan bongkar	TON/JAM	600.0
	Waktu tunggu rata -rata Paiton	Jam	1.0
	Waktu tunggu rata-rata Banjarmasin	Jam	8.0
	Waktu persiapan B/M + T Bunker	Jam	2.0

Cost Calculation /Mounth

Barge	Fixed cost	Rp	1,018,944,332.0	
	Capital cost	Rp	895,023,787.1	87.8%
	Insurance cost	Rp	41,431,627.4	4.1%
	Repair and Maintenance service	Rp	82,488,917.5	8.1%
				100.0%
	Variabel cost	Rp	210,039,775.5	
	Biaya pandu	Rp	1,544,510.0	0.7%
	Biaya tunda	Rp	5,380,000.0	2.6%
	Biaya tambat	Rp	958,604.9	0.5%
	Biaya labuh	Rp	2,156,863.1	1.0%
	Cargo handling	Rp	199,999,797.5	95.2%
				100.0%
Tugboat	Fixed cost	Rp	563,456,195.5	
	Capital cost	Rp	460,050,467.3	81.6%
	Insurance cost	Rp	19,360,216.3	3.4%
	Repair and maintenance service	Rp	38,545,511.9	6.8%
	Crew cost	Rp	45,500,000.0	8.1%
				100.0%
	Variabel cost	Rp	303,333,734.3	
	Fuel cost sea	Rp	213,980,970.7	70.5%
	Fuel cost port	Rp	12,533,797.9	4.1%
	Lubricating cost sea	Rp	68,362,751.7	22.5%
	Lubricating cost port	Rp	4,004,304.3	1.3%
	Fresh water cost	Rp	375,373.0	0.1%
	Port charges	Rp	4,076,536.8	1.3%
				100.0%
	-Biaya pandu	Rp	603,000.0	
	-Biaya tunda	Rp	3,360,000.0	
	-Biaya tambat	Rp	29,655.1	
	-Biaya labuh	Rp	83,881.7	

Template for Integrated Tug-Barge Conceptual Design Model

	Unit	Min	Value	Max
Constants				
Gravitational Constant	m/det*2		9.8	

Given Parameters

Investasi	Interest rate	%	20.0
	Lama Investasi	tahun	20.0
	Tax rate	%	16.0
	Kurs Dolar	Rp.	7,000.0
Barge	Harga barge / DWT	\$	700.0
	Biaya pandu per GRT Surabaya	Rp.	4,400.0
	Biaya pandu per GRT Banjarmasin	Rp.	5,100.0
	tabel tunda per kapal per jam		
	0 - 3500 GRT	Rp.	104,000.0
	3500 - 8000 GRT	Rp.	269,000.0
	8000 - 14000 GRT	Rp.	429,000.0
	14000 - 18000 GRT	Rp.	575,000.0
	18000 - 75000 GRT	Rp.	909,000.0
	75000 - GRT	Rp.	1,296,000.0
	Biaya tambat per GRT per etmal	Rp.	32.0
	Biaya jasa labuh per GRT per 10 hari	Rp.	40.0
	Cargo handling per ton		4,000.0
	Jumlah barge	Unit	4.0
Tugboat	Harga tugboat / BHP	\$	1,250.0
	% Harga connection dari harga tug	%	10.0
	Biaya pandu 150 s.d 500 GRT (Surabaya)	Rp.	29,700.0
	Biaya pandu 150 s.d 500 GRT (Banjarmasin)	Rp.	30,600.0
	Tabel tunda per kapal per jam		
	kapal tunda 2201 s.d 3500 HP	Rp.	168,000.0
	kapal tunda 3501 s.d 5000 HP	Rp.	212,000.0
	Biaya tambat per GRT per etmal	Rp.	40.0
	Biaya jasa labuh per GRT per 10 hari	Rp.	44.0
	Struktur gaji		
	Gaji pokok per bulan per orang	Rp.	2,100,000.0
	Makan per hari per orang	Rp.	10,000.0
	Asuransi per bulan per orang	Rp.	100,000.0
	Lembur per bulan per orang	Rp.	1,000,000.0
	Jumlah crew	orang	13.0
	Spesifikasi Mesin		
	MCR	HP	2,246.3
	Specific oil consumption	ton/HP*jam	0.000155
	Faktor cadangan		1.3
	Harga bahan bakar	\$/ton	154.0
	Harga minyak lumas	\$/ton	1,640.0
	Kebutuhan Air Tawar		
	Konsumsi air tawar	ton/orang*hari	0.165
	harga air tawar	Rp/ton	7,000.0
	Jumlah tug	Unit	2.0
Transport	Jarak Pelayaran	n.mil	370.0
	OD_eff / tahun	hari	300.0
	Kapasitas transport per bulan	TON	100,000
	Kecepatan muat	TON/JAM	1,000.0
	Kecepatan bongkar	TON/JAM	600.0
	Waktu tunggu rata -rata Paiton	Jam	1.0
	Waktu tunggu rata-rata Banjarmasin	Jam	8.0
	Waktu persiapan B/M + T Bunker	Jam	2.0

Cost Calculation/Mounth

Barge	Fixed cost	Rp	859,474,005.5	
	Capital cost	Rp	754,947,699.5	87.8%
	Insurance cost	Rp	34,947,352.5	4.1%
	Repair and Maintenance service	Rp	69,578,953.5	8.1%
				100.0%
	Variabel cost	Rp	213,004,698.7	
	Biaya pandu	Rp	1,654,257.6	0.8%
	Biaya tunda	Rp	6,456,000.0	3.0%
	Biaya tambat	Rp	811,009.4	0.4%
	Biaya labuh	Rp	2,168,963.3	1.0%
	Cargo handling	Rp	201,914,468.4	94.8%
				100.0%
Tugboat	Fixed cost	Rp	590,757,131.0	
	Capital cost	Rp	484,299,251.7	82.0%
	Insurance cost	Rp	20,380,673.3	3.4%
	Repair and maintenance service	Rp	40,577,206.0	6.9%
	Crew cost	Rp	45,500,000.0	7.7%
				100.0%
	Variabel cost	Rp	339,737,075.4	
	Fuel cost sea	Rp	251,908,282.1	74.1%
	Fuel cost port	Rp	1,610,170.5	0.5%
	Lubricating cost sea	Rp	80,479,788.8	23.7%
	Lubricating cost port	Rp	514,418.1	0.2%
	Fresh water cost	Rp	360,534.6	0.1%
	Port charges	Rp	4,863,881.2	1.4%
				100.0%
	-Biaya pandu	Rp	723,600.0	
	-Biaya tunda	Rp	4,032,000.0	
	-Biaya tambat	Rp	7,625.4	
	-Biaya labuh	Rp	100,655.8	



Template for Integrated Tug-Barge Conceptual Design Model

	Unit	Min	Value	Max
Constants				
Gravitational Constant	m/del*2		9.8	
Given Parameters				
Investasi	Interest rate	%	20.0	
	Lama investasi	tahun	20.0	
Barge	Tax rate	%	16.0	
	Kurs Dolar	Rp.	7,000.0	
Barge	Harga barge / DWT	\$	700.0	
	Biaya pandu per GRT Surabaya	Rp.	4,400.0	
	Biaya pandu per GRT Banjarmasin	Rp.	5,100.0	
	tabel tunda per kapal per jam			
	0 - 3500 GRT	Rp.	104,000.0	
	3500 - 8000 GRT	Rp.	269,000.0	
	8000 - 14000 GRT	Rp.	429,000.0	
	14000 - 18000 GRT	Rp.	575,000.0	
	18000 - 75000 GRT	Rp.	909,000.0	
	75000 - GRT	Rp.	1,296,000.0	
	Biaya tambat per GRT per etmal	Rp.	32.0	
	Biaya jasa labuh per GRT per 10 hari	Rp.	40.0	
	Cargo handling per ton		4,000.0	
	Jumlah barge	Unit	4.0	
Tugboat	Harga tugboat / BHP	\$	1,250.0	
	% Harga connection dari harga tug	%	10.0	
	Biaya pandu 150 s.d 500 GRT (Surabaya)	Rp.	29,700.0	
	Biaya pandu 150 s.d 500 GRT (Banjarmasin)	Rp.	30,600.0	
	Tabel tunda per kapal per jam			
	kapal tunda 2201 s.d 3500 HP	Rp.	168,000.0	
	kapal tunda 3501 s.d 5000 HP	Rp.	212,000.0	
	Biaya tambat per GRT per etmal	Rp.	40.0	
	Biaya jasa labuh per GRT per 10 hari	Rp.	44.0	
	Struktur gaji			
	Gaji pokok per bulan per orang	Rp.	2,100,000.0	
	Makan per hari per orang	Rp.	10,000.0	
	Asuransi per bulan per orang	Rp.	100,000.0	
	Lembur per bulan per orang	Rp.	1,000,000.0	
	Jumlah crew	orang	13.0	
	Spesifikasi Mesin			
	MCR	HP	2,051.3	
	Specific oil consumption	ton/HP*jam	0.000155	
	Faktor cadangan		1.3	
	Harga bahan bakar	\$/ton	154.0	
	Harga minyak lumas	\$/ton	1,640.0	
Transport	Kebutuhan Air Tawar			
	Konsumsi air tawar	ton/orang*hari	0.165	
	harga air tawar	Rp/ton	7,000.0	
	Jumlah tug	Unit	2.0	
	Jarak Pelayaran	n.mil	370.0	
	OD_eff / tahun	hari	300.0	
	Kapasitas transport per bulan	TON	100,000	
	Kecepatan muat	TON/JAM	1,000.0	
	Kecepatan bongkar	TON/JAM	600.0	
	Waktu tunggu rata -rata Paiton	Jam	1.0	
Barge	Waktu tunggu rata-rata Banjarmasin	Jam	8.0	
	Waktu persiapan B/M + T Bunker	Jam	2.0	
	Fixed cost	Rp	851,445,614.8	
	Capital cost	Rp	747,895,694.3	87.8%
	Insurance cost	Rp	34,620,907.5	4.1%
	Repair and Maintenance service	Rp	68,929,013.0	8.1%
				100.0%
	Variabel cost	Rp	211,045,495.9	
	Biaya pandu	Rp	1,644,776.7	0.8%
	Biaya tunda	Rp	6,456,000.0	3.1%
Tugboat	Biaya tambat	Rp	795,926.4	0.4%
	Biaya labuh	Rp	2,149,003.5	1.0%
	Cargo handling	Rp	199,999,789.4	94.8%
				100.0%
	Fixed cost	Rp	543,438,457.9	
	Capital cost	Rp	442,270,644.2	81.4%
	Insurance cost	Rp	18,611,991.4	3.4%
	Repair and maintenance service	Rp	37,055,822.3	6.8%
	Crew cost	Rp	45,500,000.0	8.4%
				100.0%
Barge	Variabel cost	Rp	324,668,692.0	
	Fuel cost sea	Rp	240,616,831.2	74.1%
	Fuel cost port	Rp	1,470,436.2	0.5%
	Lubricating cost sea	Rp	76,872,390.2	23.7%
	Lubricating cost port	Rp	469,775.7	0.1%
	Fresh water cost	Rp	375,375.0	0.1%
	Port charges	Rp	4,863,883.6	1.5%
	-Biaya pandu	Rp	723,600.0	100.0%
	-Biaya tunda	Rp	4,032,000.0	
	-Biaya tambat	Rp	7,625.6	
Barge	-Biaya labuh	Rp	100,658.0	

Lampiran 2 :

Model Regresi Ukuran Utama dan
Perkiraan Tenaga Mesin

Model Regresi Persamaan 4.1

Variables Entered/Removed^b

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	LOG_L, LOG_B ^a LOG_H	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: LOG_PAY

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.987 ^a	.975	.969	2.35E-02	1.984

a. Predictors: (Constant), LOG_L, LOG_B, LOG_H

b. Dependent Variable: LOG_PAY

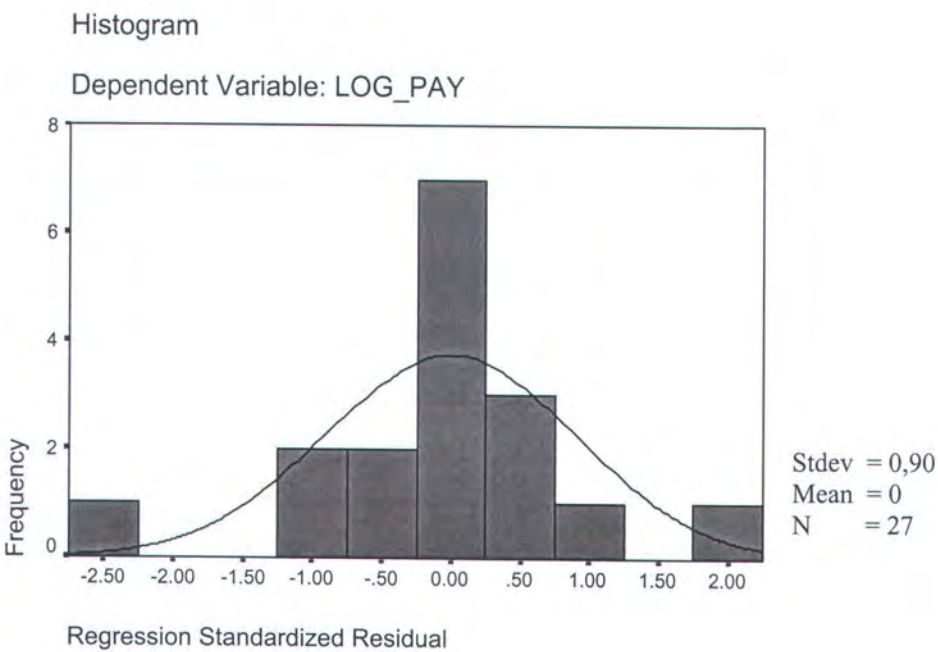
ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.279	3	9.302E-02	168.992	.000 ^a
	Residual	7.156E-03	23	5.504E-04		
	Total	.286	26			

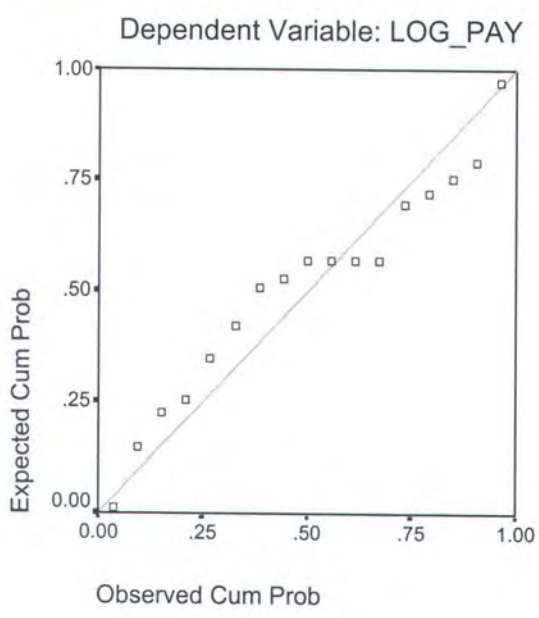
a. Predictors: (Constant), LOG_L, LOG_B, LOG_H

b. Dependent Variable: LOG_PAY

Charts



Normal P-P Plot of Regression Standardized Residua



Residuals Statistics^a

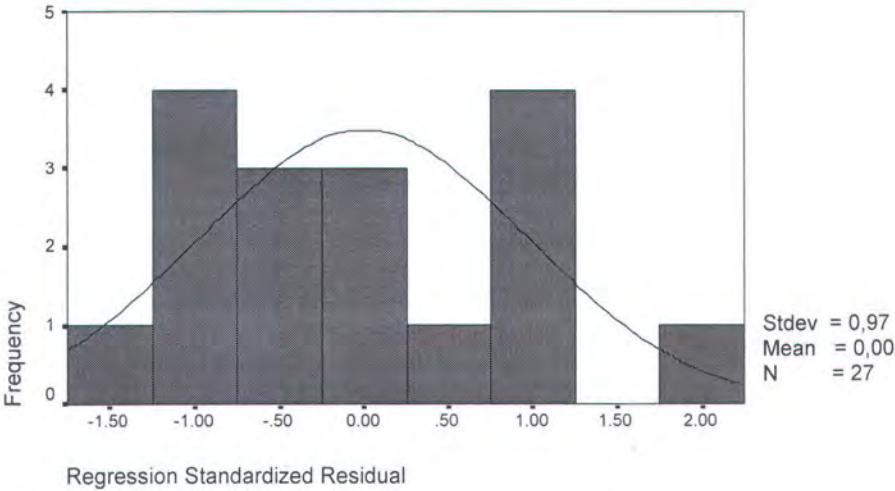
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	3.86930	4.20942	4.02268	.10853	27
Residual	-5.3E-02	5.78E-02	5.22E-17	2.97E-02	27
Std. Predicted Value	-1.413	1.721	.000	1.000	27
Std. Residual	-1.727	1.883	.000	.968	27

a. Dependent Variable: LOG_GRT

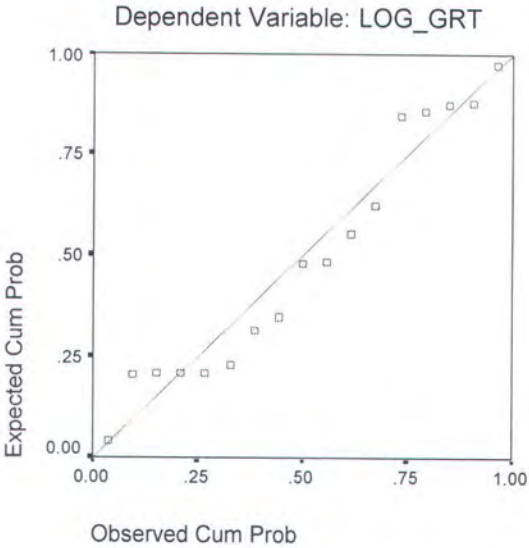
Charts

Histogram

Dependent Variable: LOG_GRT



Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual

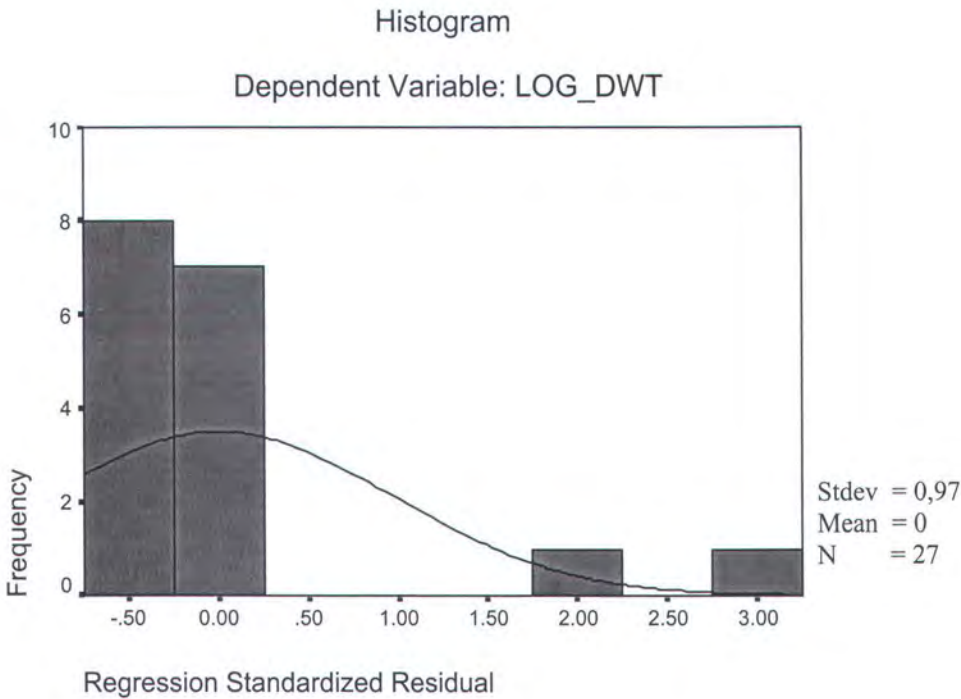


Residuals Statistics^a

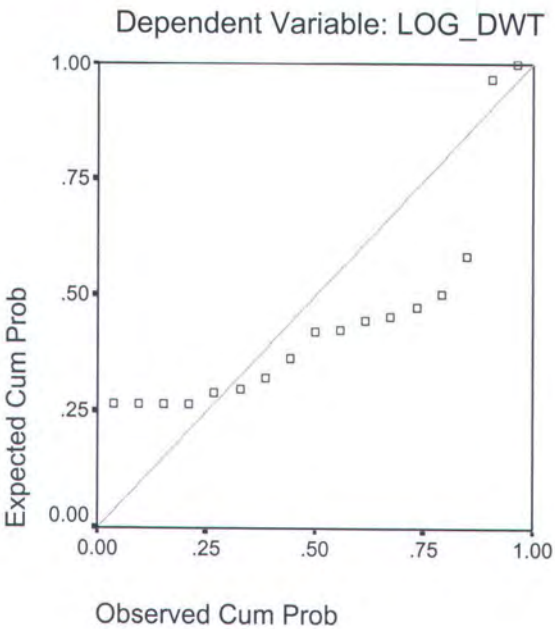
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	4.15273	4.57744	4.35066	.13168	27
Residual	-4.0E-03	1.92E-02	-7.3E-16	6.17E-03	27
Std. Predicted Value	-1.503	1.722	.000	1.000	27
Std. Residual	-.621	3.011	.000	.968	27

a. Dependent Variable: LOG_DWT

Charts



Normal P-P Plot of Regression Standardized Residua



Residuals Statistics^a

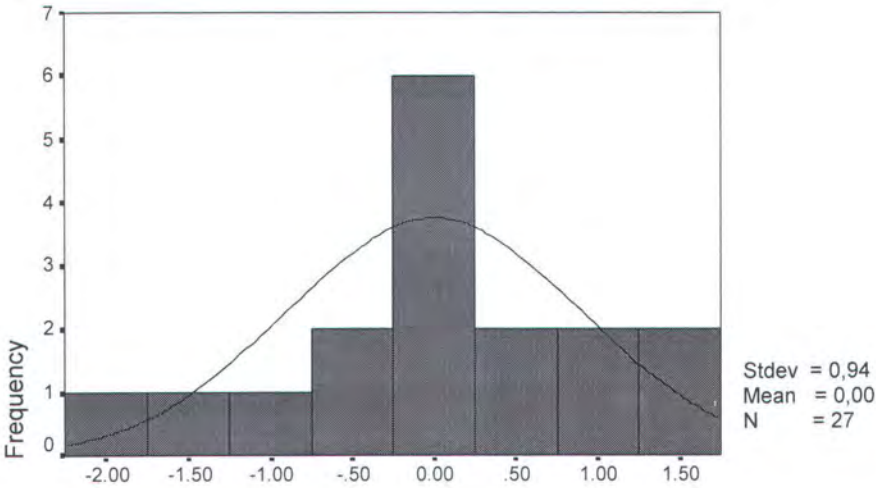
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	4.23290	4.63453	4.41692	.12077	27
Residual	-2.0E-02	1.42E-02	-1.7E-15	9.25E-03	27
Std. Predicted Value	-1.524	1.802	.000	1.000	27
Std. Residual	-1.977	1.383	.000	.901	27

a. Dependent Variable: LOG_DISP

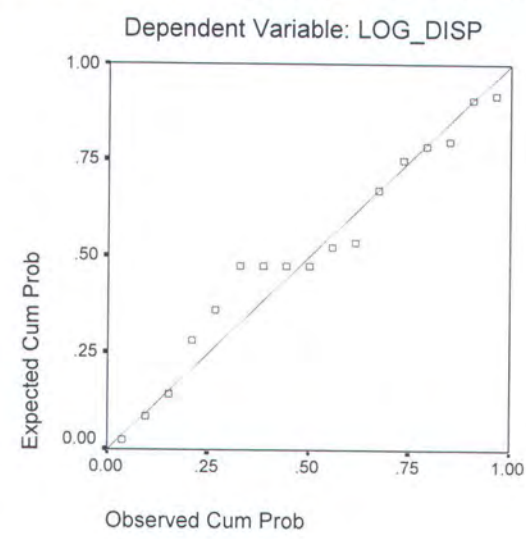
Charts

Histogram

Dependent Variable: LOG_DISP



Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual



Residuals Statistics^a

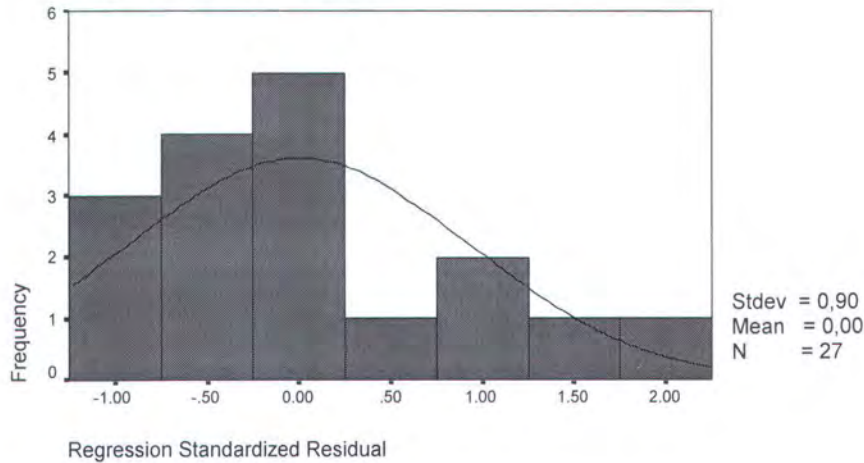
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	3.48644	4.03097	3.72448	.16715	27
Residual	-2.0E-02	3.16E-02	6.27E-16	1.50E-02	27
Std. Predicted Value	-1.424	1.834	.000	1.000	27
Std. Residual	-1.220	1.971	.000	.935	27

a. Dependent Variable: LOG_BHP

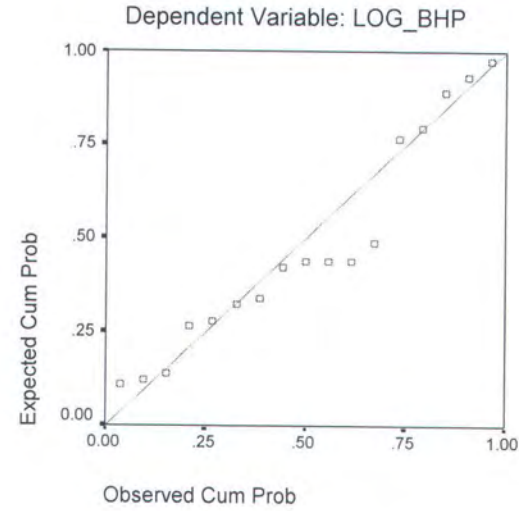
Charts

Histogram

Dependent Variable: LOG_BHP



Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual



Lampiran 3 :

Hasil Pengujian Program Solver

1 : [Bunday, 1987]

$$\text{Min } Z = (X_1 - 1)(X_1 - 2)(X_1 - 3) + X_3$$

Variabel Design

X_1	X_2	X_3
0.1	2	2.1

st

$X_3^2 - X_1^2 - X_2^2$	\leq	0
$X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 - 4$	\leq	0
X_1, X_2, X_3	\geq	0

0.4	\leq	0
8.01	\leq	0
0.1	\geq	0
2	\geq	0
2.1	\geq	0

Fungsi Objective

Z
-2.859

soft Excel 8.0 Answer Report
Sheet: [Lamp_Bunday1.xls]Sheet1
t Created: 1/11/00 3:14:51 PM

Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$19	Z	1	-6

able Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$9	X1	1	0
\$9	X2	1	1
\$9	X3	1	0

raints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$12	\leq	-1	\$H\$12 \leq \$J\$12	Not Binding	1
\$13	\leq	-2	\$H\$13 \leq \$J\$13	Not Binding	2
\$14	\geq	0	\$H\$14 \geq \$J\$14	Binding	0
\$15		1	\$H\$15 \geq \$J\$15	Not Binding	1
\$16		0	\$H\$16 \geq \$J\$16	Binding	0

soft Excel 8.0 Sensitivity Report
Sheet: [Lamp_Bunday1.xls]Sheet1
t Created: 1/11/00 3:14:51 PM

able Cells

Cell	Name	Final Value	Reduced Gradient
\$9	X1	0	0
\$9	X2	1	0
\$9	X3	0	0

soft Excel 8.0 Limits Report
Sheet: [Lamp_Bunday1.xls]Sheet1
t Created: 1/11/00 3:14:51 PM

Target
Cell Name Value
\$19 Z -6

Adjustable
Cell Name Value
\$9 X1 0
\$9 X2 1
\$9 X3 0

Lower Limit	Target Result
0	-6
0	-6
0	-6

Upper Limit	Target Result
1.414214	0.384776
1.314596	-6
1	-5

2 : [Rao, 1987]

$$\text{Min } Z = X_1^3 - 6X_1^2 + 11X_1 + X_3$$

variabel Desain

X1	X2	X3
0.000	1.414	1.414

st			
$X_1^2 + X_2^2 - X_3^2$	<=	0	
$X_1^2 - X_2^2 - X_3^2$	<=	0	
$X_3 - 5$	<=	0	
$X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$	>=	0	

0.000	<=	0
0.000	<=	0
-3.586	<=	0
0.000	<=	0
1.414	<=	0
1.414	<=	0

unasi Objective

Z
1.414213473

soft Excel 8.0 Answer Report
Sheet: [Lamp_Rao2.xls]Sheet1
t Created: 1/11/00 12:55:29 PM

Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$D\$20	Z	4.041	1.414213473

Table Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$D\$9	X1	0.100	0.000
\$D\$9	X2	0.100	1.414
\$D\$9	X3	3.000	1.414

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$D\$12	<=	0.000	\$G\$12<=0	Binding	0
\$D\$13	<=	0.000	\$G\$13<=0	Binding	0
\$D\$14	<=	-3.586	\$G\$14<=0	Not Binding	3.585786527
\$D\$15	>=	0.000	\$G\$15>=0	Binding	0.000
\$D\$16		1.414	\$G\$16>=0	Not Binding	1.414
\$D\$17		1.414	\$G\$17>=0	Not Binding	1.414

soft Excel 8.0 Sensitivity Report
Sheet: [Lamp_Rao2.xls]Sheet1
t Created: 1/11/00 12:55:29 PM

Table Cells

Cell	Name	Final Value	Reduced Gradient
\$D\$9	X1	0.000	0.000
\$D\$9	X2	1.414	0.000
\$D\$9	X3	1.414	0.000

soft Excel 8.0 Limits Report
Sheet: [Lamp_Rao2.xls]Sheet1
Created: 1/11/00 12:55:29 PM

Cell	Target Name	Value
\$D\$20	Z	1.414213473

Cell	Adjustable Name	Value
\$D\$9	X1	0.000
\$D\$9	X2	1.414
\$D\$9	X3	1.414

Lower Limit	Target Result
0.000	1.414
1.414	1.414
1.414	1.414

Upper Limit	Target Result
0.000	1.414
1.414	1.414
5.000	5.000

3 : [Bunday, 1987]

$$\text{Min } Z = X1^2 + X2^2$$

Variabel Desain	
X1	X2
2.000	2.000

$$\begin{aligned} X1 + X2 &= 4 \\ X1, X2 &\geq 0 \end{aligned}$$

4	=4
2	>=0
2	>=0

Fungsi Objective	
Z	
8	

Microsoft Excel 8.0 Answer Report
 Worksheet: [Lamp_Bunday3.xls]Sheet1
 Report Created: 1/11/00 12:17:08 PM

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$17	Z	7.1442	8

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$17	X1	1.89	2
\$17	X2	1.89	2

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$11	X1, X2 >= 0	4	\$C\$11=4	Binding	0
\$12	X1, X2 >= 0	2	\$C\$12>=0	Not Binding	2
\$13	X1, X2 >= 0	2	\$C\$13>=0	Not Binding	2

Microsoft Excel 8.0 Sensitivity Report
 Worksheet: [Lamp_Bunday1.xls]Sheet1
 Report Created: 1/11/00 12:17:08 PM

Cell	Name	Final Value	Reduced Gradient
\$17	X1	2	0
\$17	X2	2	0

Microsoft Excel 8.0 Limits Report
 Worksheet: [Lamp_Bunday1.xls]Sheet1
 Report Created: 1/11/00 12:17:08 PM

Cell	Name	Value
\$17	Z	8

Cell	Name	Value
\$17	X1	2
\$17	X2	2

Lower Limit	Target Result
2	8
2	8

Upper Limit	Target Result
2	8
2	8

: [Rao, 1990, p.716]

$$\begin{aligned} &= -15 X_1 - 27 X_2 - 36 X_3 - 18 X_4 - 12 X_5 \\ &+ 30 X_1^2 + 39 X_2^2 + 10 X_3^2 + 39 X_4^2 + 30 X_5^2 \\ &- 40 X_1 X_2 - 20 X_1 X_3 + 64 X_1 X_4 - 20 X_1 X_5 \\ &- 12 X_2 X_3 - 62 X_2 X_4 + 64 X_2 X_5 \\ &- 12 X_3 X_4 - 20 X_3 X_5 - 40 X_4 X_5 \\ &4 X_1^3 + 8 X_2^3 + 10 X_3^3 + 6 X_4^3 + 2 X_5^3 \end{aligned}$$

Variabel Desain				
X1	X2	X3	X4	X5
0.1	0.1	0.1	0.1	1

16 X ₁ - 2 X ₂ - X ₄	<=	40
2 X ₂ - 0.4 X ₄ - 2 X ₅	<=	2
7/2 X ₁ - 2 X ₃	<=	0.25
2 X ₂ + 4 X ₄ + X ₅	<=	4
9 X ₂ + 2 X ₃ - X ₄ + 2.8 X ₅	<=	4
-2 X ₁ + 4 X ₃	<=	1
X ₁ + X ₂ + X ₃ + X ₄ + X ₅	<=	40
X ₁ + 2 X ₂ + 3 X ₃ + 2 X ₄ + X ₅	<=	60
-X ₁ - 2 X ₂ - 3 X ₃ - 4 X ₄ - 5 X ₅	<=	-5
-X ₁ - X ₂ - X ₃ - X ₄ - X ₅	<=	-1
X ₁ X ₂ X ₃ X ₄ X ₅	>=	0

1.3	<=	40
-1.84	<=	2
0.15	<=	0.25
1.6	<=	4
3.8	<=	4
0.2	<=	1
1.4	<=	40
1.8	<=	60
-6	<=	-5
-1.4	<=	-1
0.1	>=	0
0.1	>=	0
0.1	>=	0
0.1	>=	0
1	>=	0

Fungsi Objective	
Z	
9.188	

ft Excel 8.0 Answer Report
et: [Lamp. Rao4.xls]Sheet1
Created: 1/11/00 2:32:05 PM

ell (Min)

	Name	Original Value	Final Value
2	Z	9.188	-32.34867891

le Cells

	Name	Original Value	Final Value
4	X1	0.1	0.3
4	X2	0.1	0.333467603
3	X3	0.1	0.4
4	X4	0.1	0.428310103
4	X5	1	0.223964876

nts

	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
	<=	3.70475469	\$J\$17<=\$K\$17	Not Binding	36.29524531
	<=	0.047681413	\$J\$18<=\$L\$18	Not Binding	1.952318587
	<=	0.25	\$J\$19<=\$L\$19	Binding	0
	<=	2.604140494	\$J\$20<=\$L\$20	Not Binding	1.395859506
	<=	3.999999981	\$J\$21<=\$L\$21	Binding	0
	<=	1	\$J\$22<=\$L\$22	Binding	0
	<=	1.685742583	\$J\$23<=\$L\$23	Not Binding	38.31425742
	<=	3.247520289	\$J\$24<=\$L\$24	Not Binding	56.75247971
	<=	-5	\$J\$25<=\$L\$25	Binding	0
	<=	-1.685742583	\$J\$26<=\$L\$26	Not Binding	0.685742583
	>=	0.3	\$J\$27>=\$L\$27	Not Binding	0.3
	>=	0.333467603	\$J\$28>=\$L\$28	Not Binding	0.333467603
	>=	0.4	\$J\$29>=\$L\$29	Not Binding	0.4
	>=	0.428310103	\$J\$30>=\$L\$30	Not Binding	0.428310103
	>=	0.223964876	\$J\$31>=\$L\$31	Not Binding	0.223964876
	>=		\$F\$10>=0	Not Binding	0.223964877

t Excel 8.0 Sensitivity Report
et: [Lamp. Rao4.xls]Sheet1
reated: 1/11/00 2:32:05 PM

9 Cells

	Name	Final Value	Reduced Gradient
	X1	0.3	0
	X2	0.333467603	0
	X3	0.4	0
	X4	0.428310103	0
	X5	0.223964876	0

Excel 8.0 Limits Report
rt: [Lamp. Rao4.xls]Sheet1
eated: 1/11/00 2:32:05 PM

Target Name	Value
Z	-32.34867891

Adjustable Name	Value
X1	0.3
X2	0.333467603
X3	0.4
X4	0.428310103
X5	0.223964876

Lower Limit	Target Result
0.3	-32.3486789
0.3334676	-32.3486789
0.4	-32.3486789
0.4283101	-32.3486789
0.2239649	-32.3486789

Upper Limit	Target Result
0.3	-32.3487
0.333468	-32.3487
0.4	-32.3487
0.777275	-25.1923
0.223965	-32.3487

Template for Preliminary Container Ship Design Model

	Unit	Min	Value	Max
Constants				
Gravitational Constant	ft/det ²		9.850	
ρ			1.995	
Given Parameters				
Range (E)	n.miles		4.000,0	
Muatan Bersih (Wp)	long-tons		18.000,0	
Jumlah Container (CNp)	TEU		1.500,0	
ΔC_I			0,0004	
Cr			0,0003	
Equations				
PERKIRAAN BERAT				
Berat Baja Kapal (Ws)	long-tons		8.748,9	
Berat Perlengkapan Kapal (Wo)	long-tons		2.812,0	
Berat Pemesinan (Wm)	long-tons		1.122,8	
Margin Light Weight (Wmg)	long-tons		380,5	
Berat Bahan Bakar (Wf)	long-tons		1.193,8	
Berat Muatan Lain (Wx)	long-tons		450,0	
Berat Muatan Bersih (Wp)	long-tons		16.645,5	
PENENTUAN KEKUATAN MESIN				
Reynold (Re)			2.137.799.455,7	
Cf			0,00140	
EHP	HP		15.740,84	
SHP	HP		27.074,3	
Fuel Rate (FR)			0,516	
Geometry				
Displacement	Long-tons		31.353,4	
Volume	ft ³		1.097.367,7	
Cp			0,555	
Cm			0,973	
Wetted Surface Factor (Wsf) (3.25 < B/T < 3.75)			15,09	
PERKIRAAN JUMLAH CONTAINER	TEU		1.863,37	
PERKIRAAN HARGA				
Harga baja kapal (Cs)	Rp		981269,3222	
Harga perlengkapan (Wo>2600)	Rp		1965033,988	
Harga Pemesinan (SHP > 13000)	Rp		1038717,498	
Harga Bahan Bakar tiap tahun (Cf)	Rp		111677,103	
BIAYA TIAP TAHUN	Rp		373094,468	
PERKIRAAN STABILITAS				
Titik Berat Baja (KGs)	ft		30,594	
Titik Berat Perlengkapan (KGo)	ft		46,007	
Titik Berat Pemesinan (KGm)	ft		29,530	
Titik Berat Margin Light Weight (KGmg)	ft		26,846	
Titik Berat Muatan (KGp)	ft		46,325	
Titik Berat Muatan Lainnya (KGx)	ft		26,846	
Titik Berat Bahan Bakar (KGf)	ft		3,957	
Titik Berat Kapal Muatan Penuh (KGk)	ft		39,176	
Perkiraan Transverse Inersia Water Plane :				
α			0,040	
It	ft ⁴		28988375,549	
Tinggi centre of Bouyancy (KB)	ft		15,490	
Jarak Metacentre ke Bouyancy (MB)	ft		26,42	
Jadi MG	ft		2,730	
FREEBOARD ACTUAL	Inch		615,361	
Freeboard minimum (L > 400 ft)	Inch		164,749	

Constraints	Indx	G Min	G(X)	G Max
V / L ^{0.5}	g(x)1	0	0,066	
V / L ^{0.5}	g(x)2	0	0,234	
L / B	g(x)3	0	1,825	
L / B	g(x)4	0	1,475	
B / T	g(x)5	0	1,000	
B / T	g(x)6	0	0,000	
L / D	g(x)7	0	6,238	
L / D	g(x)8	0	0,562	
Cb	g(x)9	0	0,000	
Cb	g(x)10	0	0,160	
Freeboard	g(x)11	0	450,612	
MG	g(x)12	0	0,220	

Decision Variables			Indx	X Min	X var	X Max
Geometry	Lpp	ft	X1	0	705,38	
	Bmid	ft	X2	0	100,42	
	D	ft	X3	0	53,69	
	Cb		X4	0,54	0,54	0,7
	T	ft	X5	0	28,69	
	V / L^0.5		X6	0,8	0,866	1,1
	B / T		X7	2,5	3,500	3,5
	L / B		X8	5,2	7,025	8,5
	L / D		X9	6,9	13,138	13,7
	Speed	Va	knots	X10	0	23,000

Objective Functions	Type	Weight	Value
(COST) ²	Min	0.500	69.599.741.152,0
(WP - W) ²	Min	0.250	458.680,1
(CNp - CM) ²	Min	0.250	33.009,3
		1,000	

Composite (MCDM)	$z=f(X_{var})$
Composite function (z)	Min
	69.600.232.841,4

Microsoft Excel 8.0 Limits Report
Worksheet: [Uji5 Aryawan.xls]Upper_Level
Report Created: 8/4/99 9:28:18 PM

Cell	Target Name	Value
\$G\$110	Min z=f(X_var)	69.600.232.841,4

Cell	Adjustable Name	Value
\$G\$90	X1 X_var	705,38
\$G\$91	X2 X_var	100,42
\$G\$92	X3 X_var	53,69
\$G\$93	X4 X_var	0,54
\$G\$94	X5 X_var	28,69

Lower Limit	Target Result
669,49	64.129.830.395,89
99,96	69.237.777.669,18
51,49	69.540.004.172,21
0,54	69600232841
28,69	69600232841,39

Upper Limit	Target Result
735,58	74.044.331.729,16
100,42	69.599.445.576,10
54,09	69.607.732.615,54
0,7	78124635492
29,07	69990720175,11

Microsoft Excel 8.0 Answer Report
Worksheet: [Uji5 Aryawan.xls]Upper_Level
Report Created: 8/4/99 9:28:15 PM

Target Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$G\$110	Min z=f(X_var)	72.502.345.418,9	69.600.232.841,4

Adjustable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$G\$90	X1 X_var	705,37	705,38
\$G\$91	X2 X_var	100,05	100,42
\$G\$92	X3 X_var	54,11	53,69
\$G\$93	X4 X_var	0,59	0,54
\$G\$94	X5 X_var	29,12	28,69

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$G\$74	g(x)1 G(X)	0,066	\$G\$74>=\$F\$74	Not Binding	0,066
\$G\$75	g(x)2 G(X)	0,234	\$G\$75>=\$F\$75	Not Binding	0,234
\$G\$76	g(x)3 G(X)	1,825	\$G\$76>=\$F\$76	Not Binding	1,825
\$G\$77	g(x)4 G(X)	1,475	\$G\$77>=\$F\$77	Not Binding	1,475
\$G\$78	g(x)5 G(X)	1,000	\$G\$78>=\$F\$78	Not Binding	1,000
\$G\$79	g(x)6 G(X)	0,000	\$G\$79>=\$F\$79	Binding	0,000
\$G\$80	g(x)7 G(X)	6,238	\$G\$80>=\$F\$80	Not Binding	6,238
\$G\$81	g(x)8 G(X)	0,562	\$G\$81>=\$F\$81	Not Binding	0,562
\$G\$82	g(x)9 G(X)	0,000	\$G\$82>=\$F\$82	Binding	0,000
\$G\$83	g(x)10 G(X)	0,160	\$G\$83>=\$F\$83	Not Binding	0,160
\$G\$84	g(x)11 G(X)	450,612	\$G\$84>=\$F\$84	Not Binding	450,612
\$G\$85	g(x)12 G(X)	0,220	\$G\$85>=\$F\$85	Not Binding	0,220

Microsoft Excel 8.0 Sensitivity Report
Worksheet: [Uji5 Aryawan.xls]Upper_Level
Report Created: 8/4/99 9:28:17 PM

Adjustable Cells

Cell	Name	Final Value	Reduced Gradient
\$G\$90	X1 X_var	705,38	0,00
\$G\$91	X2 X_var	100,42	0,00
\$G\$92	X3 X_var	53,69	0,00
\$G\$93	X4 X_var	0,54	0
\$G\$94	X5 X_var	28,69	0,00

Lampiran 4 :

Daftar Tarif Jasa Pelabuhan

**TARIF JASA LABUH DAN TAMBAT KAPAL
ANGKUTAN LAUT DALAM NEGERI**

NO	JENIS JASA	PELABUHAN UTAMA Rp.	PELABUHAN LAINNYA Rp.	KETERANGAN
I	JASA LABUH			
	a. KAPAL NIAGA			
	- Kapal Angkutan Laut Dalam Negeri	44	40	per GRT/10 hari
	- Pelayaran Rakyat	32	30	per GRT/10 hari
	- Kapal melakukan kegiatan tetap di perairan pelabuhan	210	200	per GRT/bulan almanak
	b. KAPAL BUKAN NIAGA	22	20	per GRT/10 hari
II	JASA TAMBAT			
	- Beton, Besi/Kayu	40	32	per GRT/etmal
	- Breasting Dolphin dan Pelanpung	21	16	per GRT/etmal
	-Pinggiran	14	10	per GRT/etmal

Sumber : Keputusan Menteri Perhubungan No. KM 65 Tahun 1994

**TARIF JASA PENUNDAAN UNTUK ANGKUTAN LAUT
DALAM NEGERI**

NO	URAIAN	TARIF (Rupiah)	KETERANGAN
I	UNTUK PENUNDAAN KAPAL DALAM DAERAH PERAIRAN PELABUHAN		
	- Kapal s/d 350 GRT	104000	Per kapal yang ditunda per jam
	- Kapal 3501 s/d 8000 GRT	269000	Per kapal yang ditunda per jam
	- Kapal 8001 s/d 14000 GRT	429000	Per kapal yang ditunda per jam
	- Kapal 14001 s/d 18000 GRT	575000	Per kapal yang ditunda per jam
	- Kapal 18001 s/d 75000 GRT	909000	Per kapal yang ditunda per jam
	- 75000 GRT ke atas	1296000	Per kapal yang ditunda per jam
II	UNTUK MENDORONG/MENUNDA/MENGGANDENG KAPAL TONGKANG ATAU ALAT LAINNYA DARI ATAU KE PELABUHAN DI LUAR DAERAH PELABUHAN		
	a. Dalam keadaan mendorong/menunda/menggandeng		
	- Untuk kapal tunda s/d 800 PK	61000	Per kapal tunda per jam
	- Untuk kapal tunda 801 s/d 1200 PK	87000	Per kapal tunda per jam
	- Untuk kapal tunda 1201 s/d 2200 PK	127000	Per kapal tunda per jam
	- Untuk kapal tunda 2201 s/d 3500 PK	168000	Per kapal tunda per jam
	- Untuk kapal tunda 3501 s/d 5000 PK	212000	Per kapal tunda per jam
	b. Dalam keadaan tidak mendorong/menunda/menggandeng (kosong)		
	- Untuk kapal tunda s/d 800 PK	53000	Per kapal tunda per jam
	- Untuk kapal tunda 801 s/d 1200 PK	78000	Per kapal tunda per jam
	- Untuk kapal tunda 1201 s/d 2200 PK	95000	Per kapal tunda per jam
	- Untuk kapal tunda 2201 s/d 3500 PK	143000	Per kapal tunda per jam
	- Untuk kapal tunda 3501 s/d 5000 PK	156000	Per kapal tunda per jam

Sumber : Keputusan Menteri Perhubungan No. KM 65 Tahun 1994

**TARIF JASA PEMANDUAN
KAPAL ANGKUTAN LAUT DALAM NEGERI**

NO	URAIAN	TARIF JASA PANDU (Dalam Rp.)			KETERANGAN
		a	b	c	
	PELABUHAN				
1	Dumai, Palembang, Balikpapan dan Samarinda				
	- 150 s/d 500 GRT	34700	20800	34700	per kapal
	- 501 s/d 1000 GRT	41000	24600	41000	per kapal
	- Lebih dari 1000 GRT tiap kelebihan s/d 500 GRT ditambah dengan	6600	4000	13200	
2	Lhoksumawe dan Bontang				
	- 150 s/d 500 GRT	33800	20300	33800	per kapal
	- 501 s/d 1000 GRT	40000	24000	40000	per kapal
	- Lebih dari 1000 GRT tiap kelebihan s/d 500 GRT ditambah dengan	6500	3900	13000	
3	Belawan, Cilacap, Tanjung Perak dan Makasar				
	- 150 s/d 500 GRT	29700	17800	29700	per kapal
	- 501 s/d 1000 GRT	35000	20900	35000	per kapal
	- Lebih dari 1000 GRT tiap kelebihan s/d 500 GRT ditambah dengan	4400	2700	8800	
4	Panjang, Banten, dan Tanjung Priok				
	- 150 s/d 500 GRT	27000	16100	27000	per kapal
	- 501 s/d 1000 GRT	29000	17400	29000	per kapal
	- Lebih dari 1000 GRT tiap kelebihan s/d 500 GRT ditambah dengan	3300	2000	6600	
5	Pangkalan Susu, S. Pakning, Tg Pinang, Banjarmasin, Kotabaru dan Tarakan				
	- 150 s/d 500 GRT	30600	18400	30600	per kapal
	- 501 s/d 1000 GRT	36000	21600	36000	per kapal
	- Lebih dari 1000 GRT tiap kelebihan s/d 500 GRT ditambah dengan	5100	3100	10200	
6	Kuala Tanjung, Pulau Sambu, Tg Emas, Bitung, Ambon dan Sorong				
	- 150 s/d 500 GRT	27900	16700	27900	per kapal
	- 501 s/d 1000 GRT	32000	19300	32000	per kapal
	- Lebih dari 1000 GRT tiap kelebihan s/d 500 GRT ditambah dengan	4600	2800	9200	
7	Tj Uban, Teluk Bayur dan Cirebon				
	- 150 s/d 500 GRT	25800	15500	25800	per kapal
	- 501 s/d 1000 GRT	28800	17300	28800	per kapal
	- Lebih dari 1000 GRT tiap kelebihan s/d 500 GRT ditambah dengan	3200	2000	6400	
8	Pakanbaru, Tembilahan, Jambi, Pontianak dan P. Bunyu				
	- 150 s/d 500 GRT	31600	18900	31600	per kapal
	- 501 s/d 1000 GRT	38000	22800	38000	per kapal
	- Lebih dari 1000 GRT tiap kelebihan s/d 500 GRT ditambah dengan	5800	3800	11600	
9	Batam, Meneng, Tenau/Kupang, Pantoloan, Ternate, Manokwari, Biak, Jayapura dan Merauke				
	- 150 s/d 500 GRT	25100	15000	25100	per kapal
	- 501 s/d 1000 GRT	30000	18000	30000	per kapal
	- Lebih dari 1000 GRT tiap kelebihan s/d 500 GRT ditambah dengan	4500	2700	9000	
10	Malahayati dan Benoa				
	- 150 s/d 500 GRT	21500	12700	21500	per kapal
	- 501 s/d 1000 GRT	26000	15600	26000	per kapal
	- Lebih dari 1000 GRT tiap kelebihan s/d 500 GRT ditambah dengan	3300	2000	6600	

Sumber : Keputusan Menteri Perhubungan No. KM 65 Tahun 1994

Keterangan

- Tarif pandu pada waktu melayari perairan wajib pandu keluar atau masuk
- Tarif pandu pada waktu gerakan tersendiri di perairan wajib pandu
- Tarif pandu pada waktu pemanduan di luar batas perairan wajib pandu dan di luar batas perairan pandu biasa

Lampiran 5 :

Data Pembanding Sistem Tongkang-Kapal Tunda

DATA BARGE DAN TUGBOAT PEMBANDING

BARGE / TUGBOAT	DWT (ton)	L (m)	B (m)	H (m)	T (m)	BHP (HP)	TONNAGE (GRT / NRT)	Vs (knot)	Payload (ton)	Displacement (ton)
Marie Flood Janis Guzzle	9443	112 31.5	19 9.2	7.2 5.2	5.40 4.54	- 3200	5158/5158 149/147	9.1 9.1	9204	10418
Pat Cantrell Betty Wood	7596	100.4	16.20	7.50	4.8	- 2600	4312/4312 175/119	8.8 8.8	7380	8390
Wanda Wheelock Janet Graham	17193	128.01 35.2	24.384 9.75	10.66 4.87	7.6773 4.3	- 3000	7998/7998 191/144	7.75 7.75	17142	20408
Barbara Vaught Libby Black	17193	128.01 34.52	24.38 9.6	10.66 5.73	7.68 5.36	- 3900	7998/7998 198/135	8.8 8.8	17142	20408
Rautaruuki Raahe Finnpusku	22000	159 42.0	27.2 15.5	10 10	6.7 6.7	- 10291	6984/6984 216/216	14.49 14.49	21877	25928
Olavi Pylkannenn	21650	159 41.7	27.2 15.5	10 10	6.5 6.5	- 10291	6323/6323 205/205	14.7 14.7	21527	25525
Thelma Collins Betty Culbreath	17193	128.01 34.52	24.38 9.6	10.66 5.73	7.68 5.36	- 3900	7985/7985 195/133	8.8 8.8	17142	20408
Louise Kirkpatrick Elena Hicks	17193	128.01 34.52	24.38 9.6	10.66 5.73	7.68 5.36	- 3900	7998/7998 192/131	8.8 8.8	17142	20408
Doris Guenther Sharon De Hart	18946	137.92 39.52	23.16 10.51	10.97 5.79	7.99 5.33	- 5210	9256/9248 169/115	9.7 9.7	18900	22415
Diana T Debbie Rankin	24354	139.25 42.94	24.78 10.66	14.63 5.86	9.76 5.07	- 5750	11528/11528 174/147	10.21 10.21	24354	28635
Mary Turner Beverly Anderson	8922	108.7 37.6	23.94 11.2	7.4 5.3	4.90 4.8	- 4956	4923/4923 147/147	12.1	8689	9580
Bridgeport Amy Moran	14600	129.55 30.71	24.86 9.44	8.53 5.25	5.99 4.45	- 3000	8019/8019 206/206	7.94 7.94	14000	17418
Portsmouth Marlin	14900	127.41 29.26	22.86 10.66	8.84 6.85	7.1 5.82	- 4800	7274/7274 164/111	9.85 9.85	14700	17763
Virginia Marion Moran	27000	159.1 35.89	25.91 10.36	12.19 4.95	8.48 4.283	- 4610	13239/13226 204/193	8.6 8.6	27000	31678
Maryland J. A Orgeron	22800	156.97 33.07	24.38 9.75	10.36 5.05	8.1 4.3404	- 3520	12202/12202 193/131	8 8	22800	26848
Muktadir Gupco	4818	78.6 28.21	13.2 8.61	6.9 3.65	4.6 2.5817	- 2358	2965/2965 121/121	9.3 9.3	4648	5302
Siuslaw Sea Lion	5688	84.2 28.5	15.6 8.6	6.9 3.5	4.6 2.7	- 2989	3398/3398 132/132	10.1 10.1	5501	6401
Steel Navigator	4022	73.6	12.3	6.4	40.3	-	2555/2555	9.6	3870	4327

Heimo Tide		27.43	8.22	4.26	3.63	2350	131/131	9.6		
Gayle Eustace Gulf Majesty	24999	152.4 43.2	22.95 12.19	14.38 6.7	10.25 6.1692	- 7200	12300/12300 195/132	11.2 11.2	23750	29788
Pearle Jahn Doris Moran	20486	128.01 39.7	24.38 11.8	12.19 6.5	8.86 6.1	- 5564	9542/9542 172/168	10.2 10.2	20486	23786
Judy Litrico Feels Point	6849	91.5 32.7	14.70 10.2	7.8 4.9	5.2 4.34	2383	3960/3960 135/134	8.6 8.6	6643	7614
Svitzer E.M Black	3724	71.8 28.5	11.8 8.6	6.2 3.5	4.10 2.7	1633	2398/2398 122/122	8.1 8.1	3578	4171
H.C Jefferson Elizabeth Moran	17226	129.1 34.2	22.30 10.3	8.2 4.97	6.2 4.4	3943	8460/8460 191/144	8.8 8.8	16945	20476
Stella Reedy Point	8667	107 31.8	20 11.19	6.8 5.4	5.20 4.8	2617	4807/4807 152/149	8.2 8.2	8437	9961
Cape May Sewells Point	8058	105 29.7	17.00 9.3	6.9 4.8	5.2 4.2	2066	4527/4527 131/131	7.5 7.5	7936	8197
Bath Patricia Moran	11128	115.8 31.5	24.37 9.7	8.1 4.85	6.20 4.3	3660	5904/5904	9.3 9.3	10874	13175
Cape Romain Helen D. Coppedge	9700	110.8 30.7	18.4 11.4	7.95 5.7	6.30 5.1	2670	5273/5273 147/143	8.1 8.1	9458	11085

er : - Gulfcoat Transit, *A diverse Fleet of Ocean Going Vessels Capable of Handling a Variety of Dry Bulk Commodities*,
- Articouple, *Automatic Pusher Barge Coupler*, Taisei Engineering Consultant, Inc
- Wartsila Marine Locomotive, *The Advantage of Integrated Pusher Barge Transportation*, Wartsilas Marine Industries
- American Bureau of Shipping, 1991



JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS

SURAT KEPUTUSAN TUGAS AKHIR (NA 1701)

No. : 39 /PT12.FTK2/M/1999

Nama Mahasiswa : Kaiser Idris Pranabudi
Nomor Pokok : 4194100013
Tanggal diberikan tugas : 12 Maret 1999
Tanggal selesai tugas : 12 Juli 1999
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Tri Achmadi, Ph.D
2. Firmanto Nadi, SP

Drajan / judul tugas akhir yang diberikan :

ANALISA KONSEPTUAL SISTEM TELEPORTRAI TONGKANG-KAPAL TUNDA SEBAGAI ALTERNATIF-
JALAN BATURAJA

son

Surabaya, 12 Maret 1999

Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS
Ketua,



Sestowo Sastro Wiyono

NIP. 130 687 430.

Pembusuan :

Yth. Dekan FTK-ITS.
Yth. Dosen Pembimbing.
Arsip.



FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

DAFTAR KEMAJUAN TUGAS AKHIR (NA 1701)

mahasiswa

: Kaiser Kris Pambudi

: 4194100013

s diberikan

: Semester Genap 19 98 . / 1999 . .

gal mulai tugas

: 19 Maret 1999

gal selesai tugas

: 19 Juli 1999

n Pembimbing

: 1. Ir. Hji. Achmadi, Ph.D

: 2. Ir. Purnanto Hadi

tanggal	Uraian Kemajuan Tugas	Tanda Tangan
1999 4	Pengambilan Tugas	
1999 5	Pemeriksaan Data -data	
1999 7	Analisa data	
1999 3	Pembuatan Model Optimisasi	
1999	Pemodelan Optimisasi Selesai	
1999	Pemodelan Transportasi	
1999	Pemodelan Transportasi	
1999	Model Transportasi Selesai	

lihat halaman berikutnya